

Preben Aase
Marius Midtun Egeland

Optimalisering av 3D laserskanning for kvalitetssikring

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk, prosjektledelse
Veileder: Ole Jonny Klakegg
Medveileder: Sofie Bang
Juni 2022

Preben Aase
Marius Midtun Egeland

Optimalisering av 3D laserskanning for kvalitetssikring

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk, prosjektledelse
Veileder: Ole Jonny Klakegg
Medveileder: Sofie Bang
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Kvalitetssikring (KS) i produksjonen av byggeprosjekter er viktig for både å oppdage feil tidlig og for å gjøre arbeid riktig fra det bygges første gang. Tradisjonelle metoder for KS baserer seg i stor grad på stikkprøvekontroll og sjekklister. Ved den økende kompleksiteten som man ser i byggeprosjekter kan de tradisjonelle metodene for KS både være tid- og ressurskrevende. I tillegg kan KSen være utsatt for menneskelige feil. For å forbedre arbeidet med KS har flere entreprenører i bygg- og anleggsbransjen tatt i bruk 3D laserskanning for KS.

3D laserskanning er en teknologi som gjør det mulig å registrere et øyeblikksbilde av situasjonen på en byggeplass. Videre kan resultatene av en slik skanning brukes for å sammenligne det som er produsert på byggeplassen opp imot det som er prosjektert i BIM modellen. Etersom flere aktører har sett nytteverdien av verktøyet har man sett en stor økning i forskning innenfor 3D laserskanning.

Formålet med denne studien er å finne ut hvordan 3D laserskanning for KS kan optimaliseres for å oppnå størst mulig nytteverdi. Dette gjøres ved å først identifisere verdiskapende momenter med 3D laserskanning og sammenligne 3D laserskanning for KS med tradisjonell KS. Videre er det sett nærmere på hvilke forutsetninger som er nødvendig for at 3D laserskanning for KS skal fungere optimalt. Faktorer som påvirker lønnsomheten ved 3D laserskanning for KS er også identifisert. Deretter er det sett nærmere på hvordan teknologisk utvikling kan bidra til en større nytteverdi for verktøyet i fremtiden.

Studien er utformet som en flercasestudie hvor erfaringer med bruk av 3D laserskanner for KS på ulike byggeprosjekter er benyttet som caseobjekter. Casestudien inkluderer kvalitative metoder som litteraturstudie, intervju og dokumentstudie. Totalt er det utført ni intervjuer. Intervjuobjektene hadde erfaringer fra til sammen 15 prosjekter hvor 3D laserskanning for KS. I tillegg er det utført en analyse av avvik som er identifisert med 3D laserskanning for KS.

Studien konkluderer med at bruk av 3D laserskanning i flere prosjekter har ført til oppdagelse av flere avvik. Avvikene har også blitt oppdaget tidligere enn før verktøyet ble tatt i bruk. Bruk av 3D laserskanning bidrar til en omfattende dokumentasjon og nøyaktige som-bygget modeller. Fordelene ved 3D laserskanning for KS har ført til at prosjektledelsen i flere prosjekter har oppnådd bedre prosjekt- og kvalitetsstyring. 3D laserskanning kan imidlertid ikke erstatte tradisjonell KS ettersom 3D laserskanning kun kontrollerer geometri og overflater. Tradisjonell KS kan også være et bedre alternativ ved enkle punktkontroller eller omfattende kontroller som ikke krever en høy nøyaktighet. Det er registrert store forskjeller i størrelse og betydning av fordelene og ulempene ved 3D laserskanning for KS mellom de ulike prosjektene. Dette viser at det finnes potensial for å optimalisere bruken av verktøyet.

Basert på funn i denne studien konkluderes det med at det for sikre en større gevinst er nødvendig å sette forutsetninger til tilrettelagt BIM oppfølging, herunder krav til BIM modell og kontinuerlig oppdatering av BIM modell. Kompetent prosjektledelse, herunder tilstrekkelig opplæring og bevisstgjøring av nytteverdi. Involvering av underentreprenører, herunder involveringspraksis og kostnadsfordeling. Integrasjon av skanning i bedriftens KS system, herunder kvalitetsplan, kontrollplan og statistikkføring. Prosjektspesifikke planer, herunder integrering i prosjektets fremdriftsplaner.

Studien konkluderer med at faktorer som påvirker lønnsomheten ved 3D laserskanning for KS inkluderer kostnad av skanner og programvare. Firmaspesifikke faktorer, herunder antall prosjekter skanneren er delt på og kostnad av opplæring. Prosjektspesifikke faktorer, herunder prosjekttype, størrelse og varighet. Prosessrelaterte faktorer, herunder lønn til skanningpersonell og kostnadsfordeling. Faktorer relatert til byggfeil, herunder hvor stor andel av avvik som faktisk kan reduseres. Det er på nåværende tidspunkt ikke mulig å utføre en fullstendig lønnsomhetsvurdering av 3D laserskanning for KS. Dette kommer av at det forbindes en stor usikkerhet rundt faktoren for hvor stor andel av avvik som er mulig å avdekke tidlig med laserskanner.

Funn i denne studien viser at flere av de identifiserte utfordringene med 3D laserskanning for KS kan løses ved teknologisk utvikling. Med fremskritt innen kunstig intelligens (AI) ser man for seg at både innhenting av data og behandlingen av data vil bli mer automatisert enn det er i dag. De teknologiske fremskrittene vil være med på å senke brukerterskelen ved verktøyet i tillegg til at det kan øke lønnsomheten.

Denne studien identifiserer flere punkter som kan være interessante for videre forskning. En videreføring av arbeidet i denne oppgaven kan være en studie av pilotprosjekter hvor prosedyrer basert på anbefalinger fra denne studien er benyttet. Det kan også være interessant å studere områder som ansvar, kostnadsfordeling og kontrakter tilknyttet 3D laserskanning for KS nærmere. En sammenlignende studie mellom kostnader og lønnsomhet tilknyttet tradisjonell KS opp mot KS med 3D laserskanning kan være nyttig. Et annet interessant forskningsområde er automatisering og robotisering i tilknytning til bruken av 3D laserskanning.

Abstract

Quality assurance (QA) in construction projects is important for both detecting faults early and for doing work correctly the first time it is built. Traditional methods for QA are often based on random checks and checklists. Due to the increasing complexity seen in construction projects, the traditional methods for QA can be both time-consuming and resource-intensive, in addition, the QA can be prone to human error. To improve the work with QA, several contractors in the construction industry have applied 3D laser scanning for QA.

3D laser scanning is a technology that enables visualization of the situation on a construction site. Furthermore, the results of such a scan can be used to compare what is produced on the construction site against what is designed in the BIM model. As several construction firms have seen the usefulness of the tool, there has been a large increase in research concerning 3D laser scanning.

The purpose of this study is to find out how 3D laser scanning for QA can be optimized to achieve the greatest possible utility value. This is done by first identifying value-creating elements with 3D laser scanning and comparing 3D laser scanning for QA with traditional QA. Furthermore, the prerequisites that are necessary for 3D laser scanning for QA to work optimally are addressed. Factors that affect the profitability of 3D laser scanning for QA are also identified. Thereafter it is looked more closely at how technological development can contribute to a greater utility value for the tool in the future.

This research is carried out as a multi-case study where experiences with the use of 3D laser scanning for QA on various construction projects are used as case objects. The case study includes qualitative methods such as literature review, interview, and document study. A total of nine interviews were conducted, where the interviewees had experience from a total of 15 projects where 3D laser scanning for QA has been used. In addition, a study of deviations that have been identified with 3D laser scanning for QA has been carried out.

The study concludes that the use of 3D laser scanning in several projects has led to the discovery of more deviations. The deviations have also been discovered earlier than before the tool was used. The use of 3D laser scanning contributes to comprehensive documentation and accurate as-built models. The advantage of 3D laser scanning for QA has led to project management in several projects having achieved better project and quality management. However, 3D laser scanning cannot replace traditional QA as 3D laser scanning only controls geometry and surfaces. Traditional QA can also be a better alternative for simple point checks or comprehensive checks that do not require high accuracy. Large differences in the size and significance of the advantages and disadvantages of 3D laser scanning for QA between the various projects have been registered. This shows that there is a potential for optimizing the use of the tool.

Based on findings in this study, it is concluded that it is necessary to set prerequisites such as adapted BIM follow-up, including requirements for the BIM model and continuous updating of the BIM model. Competent project management, including adequate training and awareness of utility value. Involvement of subcontractors, including involvement practices and cost allocation. Integration of scanning in the company's KS system, including quality plan, control plan, and statistics. Project-specific plans, including integration into the project's schedules.

The study concludes that factors that affect the profitability of 3D laser scanning for QA include the cost of scanner and software. Company-specific factors, including the number of projects the scanner is divided between and cost of training. Project-specific factors, including project type, size, and duration. Process-related factors, including salaries for scanning personnel and cost allocation. Factors related to construction defects, including how large a proportion of deviations can be reduced. It is currently not possible to perform a complete profitability assessment of 3D laser scanning for QA. This is since there is a great deal of uncertainty surrounding the factor for how large a proportion of deviations it is possible to detect early with laser scanners.

Findings in this study show that several of the identified challenges with 3D laser scanning for QA can be solved by technological development. With advances in artificial intelligence (AI), it is envisaged that both the acquisition of data and the processing of data will be more automated than it is today. The technological advances will help to lower the user threshold of the tool in addition to increasing profitability.

This study identifies several points that may be of interest for further research. A continuation of the work in this thesis can be a study of pilot projects where procedures based on recommendations from this study are used. It may also be interesting to study areas such as responsibilities, cost allocation, and contracts associated with 3D laser scanning for QA in more detail. A comparative study between costs and profitability associated with traditional QA versus QA with 3D laser scanning can be useful. Another interesting area of research is automation and robotics related to the use of 3D laser scanning.

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet i forbindelse med emnet TBA4910 Prosjektledelse, masteroppgave ved NTNU våren 2022. Oppgaven er vårt avsluttende arbeid på en toårig mastergrad innen prosjektledelse ved institutt for bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Rapporten utgjør 30 studiepoeng hver og omhandler 3D laserskanning for kvalitetssikring på norske byggeplasser. Funnene i oppgaven skal videre bli brukt for å utarbeide et journal paper høsten 2022.

Opgaven ble utformet etter samtaler med representant fra henholdsvis Construction City Cluster og AF gruppen. Vi var begge enige om at bruken av 3D laserskanning for kvalitetssikring virket som et interessant tema for masteroppgaven. Etter endt utdanning skal vi begge starte å arbeide i entreprenørbransjen. Med tanke på at dette verktøyet mest sannsynlig blir en naturlig del av fremtidens prosjekter vil det dermed bli en del av vår arbeidshverdag. Derfor følte det givende å tilegne seg mer informasjon om verktøyet. Det ses også på som meget spennende å få være med på å finne ut hvilke effekter ny teknologi faktisk tilfører prosjektene i byggebransjen og hvordan dette kan utnyttes på best mulig måte.

Vi ønsker å takke vår hovedveileder professor Ole Jonny Klakegg og stipendiat fra NTNU og representant fra Construction City Cluster Sofie Bang for god støtte under arbeidet med masteroppgaven. Videre vil vi tydelig uttrykke takknemlighet til alle informantene som har bidratt til denne oppgaven. Uten dere hadde ikke denne oppgaven vært mulig. Vi verdsetter deres åpenhet og vilje til å bidra til forskningen.

Vi vil også rette en takk til våre medstudenter på bygg- og miljøteknikk ved NTNU. Selv om det har vært to annerledes år som studenter i Trondheim har vi fortsatt fått oppleve utrolig mye i lag med dere.

Trondheim, 7. juni 2022



Preben Aase



Marius Midtun Egeland

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Figurer	x
Tabeller	xi
Forkortelser	xii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Eksisterende forskning	2
1.3 Formål og forskningsspørsmål	3
1.4 Omfang og avgrensninger	3
1.5 Disposisjon	4
2 Metode	5
2.1 Forskningsmetode	5
2.1.1 Kvantitativ og kvalitativ metode	5
2.1.2 Reliabilitet, validitet og generaliserbarhet	6
2.2 Valg av forskningsmetode	6
2.2.1 Valg av hoveddesign	7
2.2.2 Valg av metoder for datainnsamling	8
2.3 Litteraturstudie	9
2.3.1 Valg av litteratursøk	9
2.3.2 Fremgangsmåte	9
2.3.3 Evaluering av litteratur	12
2.3.4 Styrker og svakheter	12
2.3.5 Begrensninger	13
2.4 Case studie	13
2.4.1 Intervju	14
2.4.2 Dokumentstudie	16
2.4.3 Avviksanalyse	17
2.5 Dataanalyse	17
2.5.1 Valg av metode	18
2.5.2 Fremgangsmåte	18
2.5.3 Stryker og svakheter	19
2.5.4 Begrensninger	20
2.6 Gjenbruk fra prosjektoppgave	20
3 Teoretisk rammeverk	21

3.1	Digitalisering i BA-bransjen	21
3.1.1	Digitalisering begrepsforklaringer	21
3.1.2	Implementering- og endringsledelse	23
3.1.3	Construction 4.0	26
3.2	BIM	27
3.2.1	Generelt om BIM	27
3.2.2	ÅpenBIM	28
3.2.3	Faktorer for å lykkes med BIM	29
3.3	Kunstig intelligens i BA-bransjen	31
3.3.1	Kunstig intelligens (AI)	31
3.3.2	Bruksområder for AI i BA-bransjen	33
3.3.3	Erfaringer med AI i BA-bransjen	34
3.4	3D skanning	36
3.4.1	Laserskanning	36
3.4.2	Fotogrammetri	37
3.4.3	Punktskyer	37
3.4.4	Bruksområder	37
3.4.5	Automatisering av 3D skanning	38
3.4.6	Sammenligne punktsky med BIM modell	39
3.4.7	3D laserskanning for KS i norske byggeprosjekter	41
3.5	Kvalitetssikringssystem	41
3.5.1	Generelt om kvalitet	41
3.5.2	Krav til kvalitetssikring	43
3.5.3	Eksistensen av byggfeil og -skader	44
3.5.4	Konflikter og tvister	47
4	Resultater	48
4.1	Resultater - Intervju	48
4.1.1	Prosess for 3D laserskanning for KS	48
4.1.2	Oppdagelse av flere avvik	50
4.1.3	Tidligere oppdagelse av avvik	52
4.1.4	Tidsbruk for KS prosessen	53
4.1.5	Påvirkning på tradisjonell KS	54
4.1.6	Dokumentasjon av produsert kvalitet	54
4.1.7	Tegningsunderlaget og som-bygget modell	55
4.1.8	Verdi for prosjektledelsen	56
4.1.9	Overordnet påvirkning på prosjektene	57
4.1.10	BIM	59
4.1.11	Prosjektledelsens kompetanse	61
4.1.12	Prosesser og planverk	63
4.1.13	Involvering av UE	65
4.1.14	Bygningstyper, faser og materialer	66
4.1.15	Rammefaktorer	67

4.1.16	Datafangst	69
4.1.17	Prosesseringstid	70
4.1.18	Avviksdeteksjon	70
4.1.19	Opprettelse av avviksmeldinger	72
4.1.20	Nøyaktighet av skannresultater	73
4.1.21	Kostnad- og nyttevurdering	73
4.1.22	Oppsummerende funn fra intervjuer	74
4.2	Resultater - Dokumentstudie	75
4.2.1	Bakgrunn for implementering	75
4.2.2	Erfaringer med 3D-skanning fra tre prosjekter	75
4.3	Resultater - Avviksanalyse	78
4.3.1	Effekter av tidlig deteksjon	78
4.3.2	Spart risiko ved 3D skanning for KS	78
5	Diskusjon	80
5.1	3D laserskannings påvirkning på KS	80
5.1.1	Tidligere oppdagelse av avvik	81
5.1.2	Oppdagelse av flere avvik	82
5.1.3	Tidsbruk	83
5.1.4	Omfattende dokumentasjon	85
5.1.5	Oppdatert tegningsunderlag	86
5.1.6	Som-bygget modell	87
5.1.7	Prosjektstyring	88
5.2	Forutsetninger for 3D laserskanning for KS	90
5.2.1	Tilrettelagt BIM oppfølging	90
5.2.2	Kompetent prosjektledelse	93
5.2.3	Involvering av UE	95
5.2.4	Integrering av skanning i bedriftens KS system	98
5.2.5	Prosjektspesifikke planer	101
5.3	Faktorer som påvirker lønnsomheten	102
5.3.1	Kostnad av skanner og programvare	102
5.3.2	Firmaspesifikke faktorer	103
5.3.3	Prosjektspesifikke faktorer	103
5.3.4	Prosessrelaterte faktorer	104
5.3.5	Faktorer relatert til byggfeil	105
5.4	Teknologisk utvikling	106
5.4.1	Robotisering	107
5.4.2	Automatisering	107
5.4.3	Nøyaktighet og kvalitet på skanningsresultatet	108
5.4.4	Interoperabilitet	108
5.4.5	Konkurrerende teknologi	109
6	Konklusjon	110
6.1	3D laserskannings påvirkning på KS	110

6.2	Forutsetninger for 3D laserskanning for KS	111
6.3	Faktorer som påvirker lønnsomheten	111
6.4	Teknologisk utvikling	112
6.5	Videre arbeid	113
Referanser	. . . . .	114
Vedlegg	. . . . .	119

Figurer

2.1	Fremgangsmåte for litteratursøk	10
2.2	Eksempel på kategorisering og tematisering av empirisk data	18
2.3	Eksempel på kategorisering og tematisering av empiri og teori for diskusjon	19
3.1	Konseptuell modell digitisering, digitalisering, digital innovasjon og transformasjon . . .	23
3.2	Endringsprosessen	23
3.3	Oversikt over hva som inngår i Construction 4.0	27
3.4	BIM dimensjoner	28
3.5	3D laserskannere	36
3.6	Eksempler på roboter til skanning på byggeplass	38
3.7	Metoder for å sammenligne punktsky og BIM modell	39
3.8	Terskelvisning	40
3.9	Varmekart	40
3.10	Dimensjoner av kvalitet	41
3.11	Eksempel på kvalitetssystem	43
3.12	Begreper for måling av feil og skader	44
3.13	Fordeling av når byggskadene har sitt opphav	46
3.14	Byggskadeomfang fordelt på skadested	47
4.1	Prosessbeskrivelse 3D laserskanning for KS	48
4.2	Avvik på røroppstikk	53
4.3	Faktorer for tidsbruk ved 3D laserskanning for KS	53
4.4	Avvik på balkonghelning	60
4.5	Statistikk fra Imerso plattformen	63
4.6	Eksempel på støy i skann	64
4.7	Avvikssøk i Scaled Robotics	70
4.8	Varmekartfunksjon i Imerso	71
5.1	Tidligere oppdagelse av avvik	82
5.2	Oppdagelse av flere avvik	83
5.3	Tidsbruk for KS	85
5.4	Omfattende dokumentasjon	86
5.5	Oppdatert tegningsunderlag	87
5.6	Som-bygget modell	88
5.7	Prosjektstyring	89

Tabeller

1.1	Disposisjon	4
2.1	Benyttede søkemotorer	10
2.2	Eksempel på frasesøk i Ei Compendex med avgrensning	11
2.3	Forklaringen av TONE-prinsippet	12
4.1	Tid- og ressursbruk tilknyttet 3D laserskanning	76
4.2	Andre funn tilknyttet 3D laserskanning	77
4.3	Spart risiko-matrise	79
5.1	Sjekkliste BIM oppfølging	93
5.2	Sjekkliste kompetent prosjektledelse	95
5.3	Sjekkliste involvering av UE	98
5.4	Sjekkliste integrering av skanning i bedriftens KS system	100
5.5	Sjekkliste prosjektspesifikke planer	102
5.6	Lønnsomhetsfaktorer	106
5.7	Potensiell teknologisk utvikling	109

Forkortelser

AI - Kunstig intelligens

BA - Bygg og anlegg

BAE - Bygg, anlegg og eiendom

BCF - BIM Collaboration Format (filformat)

BH - Byggherre

BIM - Bygningsinformasjonsmodellering

DiBK - Direktorat for byggkvalitet

FS - Forskningsspørsmål

IFC - Industry Foundation Classes (filformat)

KS - Kvalitetssikring

MMI - Modell modenhets indeks

Pbl - Plan og bygningsloven

SAK - Byggesaksforskriften

TE - Totalentreprenør

UE - Underentreprenør

FDV - Forvaltning, drift og vedlikehold

Introduksjon

Dette kapittelet skal gi leseren en introduksjon til masteroppgaven og temaet den omhandler. Innledningsvis blir bakgrunnen for temaet forklart. Videre følger informasjon om tidligere forskning og dets eksisterende kunnskapsgap. Etterfulgt av masteroppgavens formål og forskningsspørsmål. Avslutningsvis forklares oppgavens omfang, avgrensninger og disposisjon.

1.1 Bakgrunn

Produktiviteten i bygge- og anleggsvirksomheten (BA-virksomheten) har ifølge Statistisk sentralbyrå falt med 10 % siden år 2000 (Todsén, 2018). Gjennom den samme perioden har produktiviteten i privat sektor på norsk fastland økt med hele 30 %. Flere studier viser at bedriftene i BA-virksomhet har et betydelig forbedringspotensial med tanke på kostnadsutvikling og kvalitet. Blant annet fant Ingvaldsen og Edvardsen (2007) i en studie av 122 boligblokkprosjekter at det gjennomsnittlige mulige effektivitetspotensialet for prosjektene var 21 % i forhold til «beste praksis»-prosjektene. Studien viser at det er et stort potensial for å oppnå økt produktivitet i byggeprosjekter ved å forbedre gjeldene arbeidsprosesser i bransjen. En effektivisering av prosesser medfører mindre sløsing og gir positive følger for bedrifter så vel som for samfunnet generelt (Josephson & Björkman, 2011). Dette kan eksempelvis innebære en redusert miljøpåvirkning, økt konkurransedyktighet og en bedre utnyttelse av menneskelige og materielle ressurser.

I løpet av et byggeprosjekt kan det oppstå feil som fører til at den produserte kvaliteten til bygget avviker fra den planlagte kvaliteten (Liu et al., 2021). Dette kan skyldes årsaker som værforhold, leveringsforsinkelser og menneskelige feil. Summen av kostnadene for utbedring av feil underveis og i ettertid av prosjekter utgjør prosjektenes samlede feil og skadebaserte forbedringspotensial (Ingvaldsen, 2008). Ingvaldsen (2008) anslår det samlede feil- og skadebaserte forbedringspotensialet i norsk byggevirksomhet til å være mellom hele 5-13 % av produksjonskostnaden. Av det samlede feil- og skadeomfanget er interne kvalitetsfeil i byggeprosessen, altså feil som aktørene utbedrer før bygget overleveres til byggherre, anslått til å være på mellom 3-7 % av produksjonskostnaden. Det kan dermed sies at det er et potensial for store besparelser for involverte aktører i byggeprosessen dersom andelen feil og skader reduseres.

Ved å se mengden feil som oppstår i byggeproduksjon i sammenheng med det registrerte produktivitetspotensialet fremkommer viktigheten av kvalitetssikring (KS) for å oppdage avvik tidlig og for å gjøre arbeid riktig fra det bygges første gang. Dette er to viktige prinsipper i kvalitetsarbeidet som gjøres på byggeplasser hvor målet er å oppnå god kvalitet på bygget og dets installasjoner (Olsson, 2017). Ettersom byggeprosjekter stadig blir mer komplekse har behovet for KS økt (Kalyan et al., 2016). Tradisjonelle KS-metoder baserer seg i stor grad på stikkprøvekontroll og sjekklister og ved økt kompleksitet er ofte de tradisjonelle metodene for KS tid- og ressurskrevende (Kalyan et al., 2016). I tillegg er kvalitetssikringen utsatt for menneskelige feil.

I lys av den pågående digitaliseringen av BA-bransjen, ofte omtalt som Construction 4.0, søker entreprenører stadig etter ny teknologi som kan effektivisere og forbedre arbeidsprosessene på byggeplassen (Woo et al., 2021). Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) er en sentral del av Construction 4.0 (Perrier et al., 2020) og har i dag blitt tatt i bruk i utstrakt grad. For å utnytte potensialet til BIM har entreprenører de senere årene tatt i bruk 3D skanningsteknologi for å utføre KS.

3D laserskanning er en teknologi som gjør det mulig å registrere den komplekse situasjonen på en byggeplass både effektivt og fullstendig (Rolfsen et al., 2021). Resultatene fra en 3D laserskanning kan sammenlignes med prosjektets BIM modell ved hjelp av kunstig intelligens (AI). Ved å utføre denne sammenligningen kan man utføre en kvalitetssjekk hvor det som er produsert sjekkes opp mot det som er prosjektert. Ettersom flere aktører har sett nytteverdien av verktøyet har man opplevd en stor økning i forskning innenfor 3D skanning (Liu et al., 2021). Flere forskningsartikler peker på et stort potensial for verktøyet. Ifølge Binjin et al. (2018) har BIM og 3D laserskanning potensiale til å bli den viktigste metoden innenfor fagfeltet kvalitet for ingeniørarbeid.

1.2 Eksisterende forskning

Den første forskningen som omhandler 3D laserskanning sammen med BIM er i dag 11 år gammel (Liu et al., 2021; Randall, 2011). Siden den gang har litteraturen stort sett hatt et fokus på de tekniske sidene ved 3D laserskanning og BIM. Flere forskningsartikler er knyttet til selve prosessen med å sammenligne resultatene fra en laserskann med prosjektets BIM modell (Binjin et al., 2018; Kalyan et al., 2016). Andre identifiserte artikler handler om automatisering av skanningprosessen. Både i form av automatiske skanningplaner fra BIM modellen (Biswas, 2020; Frías et al., 2019) og ved bruk av roboter og droner for å skanne (Hamledari et al., 2018; Liu et al., 2021). Det finnes også forskning som sier noe om hvilke krav som må oppfylles både for punktskyers kvalitet (Rebolj et al., 2017) og mer generelle krav (Randall, 2011).

Våren 2021 ble det utført en masteroppgave ved Universitet i Stavanger som omhandlet bruken av 3D laserskanning for kvalitetssikring i produksjonsfasen av byggeprosjekter (Jeverunen, 2021). Masteroppgaven gir en innføring i bruken av 3D laserskanning for KS på norske byggeprosjekter. Den presenterer mulighetene verktøyet gir og belyser utfordringer som er erfart.

Forskningslitteraturen sier tydelig hvilke fordeler og utfordringer som kjennetegner 3D laserskanning i byggeprosjekter. Det er imidlertid lite forskning som sier noe rundt hvordan byggeprosjektene som benytter 3D laserskanning bør bruke verktøyet for å oppnå størst produktivitet. Eksisterende forskning

har i liten grad fokus på hvordan 3D laserskanning kan brukes med dagens arbeidsprosedyrer og KS system. Den sier lite om hvilke suksessfaktorer som forutsettes for å lykkes med 3D laserskanning i produksjonen av byggeprosjekter.

Basert på tidligere forskning er det identifisert et kunnskapsgap knyttet til prosessen med å bruke 3D laserskanning i kvalitetsarbeidet under produksjonen av byggeprosjekter. Det er derfor aktuelt å se nærmere på hvordan 3D laserskanning kan benyttes på en best mulig måte her.

1.3 Formål og forskningsspørsmål

Formålet med oppgaven er å presentere hva som er viktig for å lykkes med 3D laserskanning for KS i norske byggeprosjekter. Dette gjøres ved å innhente erfaringer med bruk av verktøyet og basert på erfaringer og teori presentere hvilke muligheter det er for å forbedre verktøyet.

Masteroppgaven skal svare på følgende problemstilling:

Hvordan kan 3D laserskanning for kvalitetssikring optimaliseres for å oppnå størst mulig nytteverdi?

For å svare på problemstillingen er det formulert fire konkrete forskningsspørsmål.

FS1 Har byggeprosjekter som benytter seg av 3D laserskanning for kvalitetssikring bedre kvalitetssikring enn prosjekter med tradisjonell form for kvalitetssikring?

FS2 Hvilke forutsetninger er nødvendig for at 3D laserskanning for kvalitetssikring skal fungere optimalt?

FS3 Hvilke faktorer påvirker lønnsomheten ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring?

FS4 Hvordan kan teknologisk utvikling gi større nytteverdi ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring?

1.4 Omfang og avgrensninger

Denne masteroppgaven har et omfang på totalt 60 studiepoeng og er skrevet av to studenter i samarbeid. Litteratursøket som er inkludert i masteroppgaven var en del av arbeidskravet i to emner høsten 2021, henholdsvis TBA4128 Prosjektledelse, Videregående kurs og TBA4151 Anleggsteknikk, Videregående kurs (Aase & Egeland, 2021b). Selve masteroppgaven bygger videre på introduserende forskning utført høsten 2021 i emnet TBA4531 Prosjektledelse, Fordypningsprosjekt (Aase & Egeland, 2021a).

På grunn av den faglige erfaringen til forfatterne er det nødvendig å sette en avgrensning med tanke på datatekniske aspekter ved teknologien. Oppgaven vil derfor se bort ifra det datatekniske, og i stede fokusere på hvordan verktøyet brukes, og hva man får ut av det. Masteroppgaven har et entreprenør og

prosjektledelseperspektiv hvor det sees nærmere på hvordan 3D laserskanning passer inn i byggeprosjekter.

Som en følge av at 3D laserskanning har et meget bredt bruksområdet innenfor BA-bransjen er det nødvendig å gjøre noen avgrensninger knyttet til bruksområdene. For eksempel så er verktøyet mye brukt i rehabiliteringsprosjektet hvor det ikke finnes eksisterende tegninger å forholde seg til. Verktøyet har også stor nytte i anleggsprosjekter ved for eksempel tunneldriving. Med tanke på formålet med denne masteroppgaven er det valgt å sette en avgrensning ved at oppgaven i all hovedsak omhandler bruk av 3D laserskanning for KS i produksjonsfasen av nybygg.

1.5 Disposisjon

Masteroppgavens disposisjon følger IMRaD-strukturen og baserer seg på beskrivelser gitt i veileder for fagtekster ved Institutt for bygg- og miljøteknikk (2021). Tabell 1.1 viser valgt struktur med tilhørende forklaring av innhold i hvert kapittel.

Tabell 1.1: Disposisjon etter IMRaD-struktur (basert på Institutt for bygg- og miljøteknikk, 2021).

Struktur	Beskrivelse
Introduksjon	Presentasjon av bakgrunn for oppgaven, dens relevans og formål. Problemstilling, forskningsspørsmål og avgrensninger blir forklart. Avslutningsvis blir oppgavens disposisjon presentert.
Metode	Forklarer hvordan det vitenskapelige arbeidet er utført. Metodene blir grundig forklart og diskuteres rundt punkter som transparens, validitet og reliabilitet.
Teori	Det teoretiske rammeverket for oppgaven presenteres. Sentrale begreper og definisjoner blir forklart. Teori som har relevans for oppgavens diskusjon blir presentert.
Resultat	Kapitlet presenterer funnene fra de kvalitative intervjuene og dokumentstudien. Innholdet er strukturert etter intervjuguide og videre delt inn i tema.
Diskusjon	Forskningsspørsmålene blir drøftet basert på sammenhenger i resultatene og det teoretiske grunnlaget.
Konklusjon	Kapitlet presenterer svar på forskningsspørsmålene og muligheter for videre arbeid.
Vedlegg	Presenterer ytterligere informasjon som ikke fikk plass i selve oppgaven. Dette inkluderer litteratursøk, intervjuguide og avviksanalyse.

Metode

Metodekapittelet gir en innføring i valg og bruk av metoder som er benyttet for å svare på oppgavens forskningsspørsmål. Kapittelets formål er å gi leseren innsikt i hvordan det vitenskapelige arbeidet er utført for å bidra til å sikre oppgavens transparens, validitet og reliabilitet. Kapittelet starter med en beskrivelse av overordnet forskningsmetode. Videre følger beskrivelser av de enkelte metodene som er benyttet for litteratur- og datainnhenting. Det blir fortløpende gjennom kapittelet drøftet rundt de ulike metodenes styrker, svakheter og begrensninger.

2.1 Forskningsmetode

Forskningsmetoder innebærer idéene, verktøyene og modellene som benyttes for å utføre forskning (Blumberg et al., 2014). Korrekt utført forskning begynner med å undersøke eksisterende forskningslitteratur for å identifisere kunnskapsgap. Forskningsspørsmål utformes deretter med formål om å tette kunnskapsgapet (Eisenhardt & Graebner, 2007). Ulike forskningsmetoder har forskjellige styrker og svakheter, og må derfor velges basert på hva en ønsker å oppnå, samtidig som man har forskningens avgrensninger i mente (Dalland, 2017).

2.1.1 Kvantitativ og kvalitativ metode

De to hovedretningene for å innhente informasjon innen forskning er kvantitativ og kvalitativ metode. Den kvantitative metoden beror på tall, data og annen målbar informasjon, mens den kvalitative metoden på den andre siden beror på informasjon som ord, setninger, opplevelser og meninger (Dalland, 2017). Kvantitative metoder består typisk av evaluering av store mengder statistiske data for å se sammenhenger og trekke konklusjoner. Ved bruk av kvantitative metoder er det ofte mer vanlig å trekke ut mindre mengder data fra et stort antall kilder, i motsetning til ved bruk av kvalitative metoder hvor man ofte henter ut store mengder data fra få kilder (Samset, 2015). Kvantitativ informasjon kan gi presisjon og grunnlag for analyse, mens kvalitativ informasjon kan være nødvendig for å etablere tilstrekkelig forståelse og dybde (Samset, 2015).

2.1.2 Reliabilitet, validitet og generaliserbarhet

Den potensielle soliditeten til en forskningsmetode kan uttrykkes av dens reliabilitet og validitet (Blumberg et al., 2014). Reliabilitet omhandler påliteligheten eller presisjonen til forskningsmetoden og kan i praksis tenkes på som etterprøvbareheten til forskningen (Bryman, 2016). Validiteten omhandler i hvilken grad den valgte forskningsmetoden kan benyttes for å nøyaktig svare på forskningens formål, altså at tolkningen av resultat sammenfaller med virkeligheten (Samset, 2015). Ved kvalitative vurderinger vil det være en mer begrenset mulighet for å sikre informasjonens presisjon, og i noen tilfeller vil det derfor være den definisjonsmessige validiteten som vil være avgjørende for godheten til vurderingene. Reliabilitetsutfordringer oppstår når presisjonsnivået i utsagnene en bruker er utilstrekkelig (Samset, 2015). Dette kan for eksempel forekomme ved unøyaktig tolkning av innhentet informasjon. Reliabilitetsutfordringer er typisk en større utfordring ved kvalitative metoder ettersom informasjonen må tolkes i større grad enn ved kvantitative numeriske metoder.

Overordnet for masteroppgaven er reliabilitet sikret gjennom grundig dokumentasjon av forskningsarbeidet. På denne måten er mulig for andre forskere å etterprøve resultatene. Validitet er sikret ved å benytte triangulering (Flick, 2004). Triangulering innebærer at det er benyttet ulike metodiske tilnæringer for å belyse problemstilling fra minst to forskjellige synspunkter. Det vil under hver enkelt metodebeskrivelse forklares ytterligere hvordan oppgavens reliabilitet og validitet er ivaretatt med den respektive metoden.

Generaliserbarhet omhandler hvor gyldig resultatene av forskningen er for andre situasjoner (Busch, 2013). Busch (2013) skriver at det er formålet med forskningen som avgjør om det er fordelaktig eller ikke med en høy grad av generaliserbarhet. I masteroppgaven er det valgt å benytte konseptuell generalisering som forklart i Tjora (2010). Rent praktisk betyr dette at det er valgt å fremstille funn i form av typologier, modeller, begreper, metaforer eller lovmessigheter som ikke nødvendigvis er direkte knyttet spesifikt til det tilfellet empirien er hentet fra. En slik tilnærming er valgt for at resultatene fra forskningen skal kunne brukes i fremtidige prosjekter som vil kunne variere fra de studerte prosjektene empirien er hentet fra. For å sikre relevans, ut over de data som er direkte analysert i prosjektene, benyttes tidligere forskning og teori som støtter opp under gyldigheten og generaliserbarheten.

2.2 Valg av forskningsmetode

Forskningsarbeidet tilknyttet masteroppgaven startet høsten 2021 ved arbeid med prosjektoppgaven i faget TBA4531 Prosjektledelse, fordypningsprosjekt (Aase & Egeland, 2021a). Den innledende litteraturstudien ga en god forståelse av forskningsområdet som videre førte til identifisering av utfordringer og potensialer ved 3D laserskanning for kvalitetssikring i byggeprosjekter. Dette arbeidet viste også at det eksisterte et kunnskapsgap innenfor forskning på bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring i byggeprosjekter. Prosjektoppgaven bidro sammen med veiledning, studier av andre forskningsoppgaver og metodeteori til å danne et godt grunnlag for å ta avgjørelser rundt forskningsdesign og for å utforme problemstilling og forsknings spørsmål.

Forskningsspørsmål kan ifølge Busch (2013) klassifiseres på seks ulike måter etter hvilke typer svar de etterspør.

FS1 *Har byggeprosjekter som benytter seg av 3D laserskanning for kvalitetssikring bedre kvalitetssikring enn prosjekter med tradisjonell form for kvalitetssikring?* kan klassifiseres som et «forklarende» spørsmål, og har til hensikt å analysere årsak-virkning-sammenhenger mellom to eller flere variabler.

FS2 *Hvilke forutsetninger er nødvendig for at 3D laserskanning for kvalitetssikring skal fungere optimalt?* klassifiseres som et «problemløsende» spørsmål, og har til hensikt å gi anbefalinger om hvordan et gitt problem kan løses.

FS3 *Hvilke faktorer påvirker lønnsomheten ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring?* klassifiseres også som et «forklarende» spørsmål.

FS4 *Hvordan kan teknologisk utvikling gi større nytteverdi ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring?* klassifiseres også som et «problemløsende» spørsmål.

Formålet med å benytte «forklarende» og «problemløsende» forskningsspørsmål i masteroppgaven er å bidra til ny kunnskap ved å identifisere forbedringsmuligheter innen dagens praksis, samt å belyse potensialer i fremtidig utvikling av kvalitetssikringsprosessen. For å besvare forskningsspørsmålene kreves det både en studie av nåværende praksis i bransjen og teoretisk kunnskap tilknyttet temaet.

Masteroppgaven omhandler et tema som er lite utforsket i forskningslitteraturen. Temaet ansees derfor som best skikket for dybdeevalueringer for å oppnå en dypere helhetsforståelse. 3D laserskanning for kvalitetssikring er også et relativt nytt verktøy i byggebransjen. Dette medfører begrensninger i antall aktuelle informanter som kan nyttes for datainnhenting. Det er også rimelig å anta at noen av de som besitter mest kunnskap rundt bruken av 3D laserskanning for kvalitetssikring er de personene som arbeider direkte med kvalitetssikring på byggeprosjekter. Det sees derfor på som nødvendig å gjennomføre samtaler med personer som har erfaring med 3D laserskanning for kvalitetssikring for å identifisere verdier, utfordringer og optimaliseringsmuligheter.

Det er det valgt å bruke kvalitative metoder for å samle inn data i forskningen. Valget begrunnes med at forskningsspørsmålene er av en slik karakter at det kan være vanskelig å finne de rette momentene å ta opp i en større kvantitativ undersøkelse, hvor det vil være et større behov for bakgrunnsinformasjon for å stille de riktige spørsmålene. Det ansees derfor som bedre å la kildene få en friere tilnærming for å greie ut om sine erfaringer. Det vurderes dermed til at det ved å bruke kvalitative metoder vil være mulig å samle erfaringer og kunnskap som det ved kvantitative metoder ville kunne være vanskelig å oppdage.

2.2.1 Valg av hoveddesign

Yin (2009) skriver at casestudie er hensiktsmessig når forskningen har som formål å undersøke hvordan og hvorfor sosiale fenomen utfolder seg som de gjør. I denne studien skal 3D laserskanning for KS på

byggeprosjekter undersøkes. Formålet med studien er som tidligere nevnt å gi forståelse og innsikt i bruken av 3D laserskanning for KS og hvordan verktøyet kan optimaliseres for å gi størst mulig nytteverdi. Basert på formålet med masteroppgaven er casestudie vurdert som det beste hoveddesignet for å innhente og analysere data. Det at forskningstemaet er relativt nytt og det er begrensninger i tilgjengelige byggeprosjekter hvor 3D laserskanning for KS benyttes styrker også valget av casestudie.

Eksperiment er også vurdert som et alternativ til casestudie, men som en følge av at det ville krevd stor teknisk kompetanse om laserskanning er alternativet forkastet. Det kan argumenteres for at eksperiment ikke ville gitt de svarene som denne studien etterspør fordi forskerne ikke har tilstrekkelig tekniske erfaringer med verktøyet til å trekke slike konklusjoner. En annen forskningsmetode som er vurdert er spørreundersøkelse, men på grunn av at begrensninger i hvor dypt man kommer i et gitt fenomen og nødvendighet av mange representanter er ikke spørreundersøkelse vurdert til å være en egnet metode.

Innenfor rammene av casestudie er litteraturstudie benyttet til datainnsamling for å danne et teoretisk rammeverk. Datainnsamling av empirisk data er utført ved intervju og dokumentstudie. Det er nyttet triangulering ved datainnhenting for å styrke kvaliteten og validiteten av forskningen slik som anbefalt av Yin (2009). Begrunnelse av valg av nevnte metoder blir videre forklart.

2.2.2 Valg av metoder for datainnsamling

Litteraturstudie

Det er valgt å utføre en litteraturstudie for å finne eksisterende forskningslitteratur innenfor fagfeltet, identifisere kunnskapsgap og øke forfatternes kunnskapsnivå på fagfeltet. Litteraturstudien styrker oppgavens reliabilitet ved at funn fra empiri og teori kan sammenlignes. Eksempelvis vil det for FS2 være naturlig sjekke om forutsetningene identifisert fra empiri stemmer overens med funn i teori slik at troverdigheten til resultatene styrkes. Sammenligning mellom empiri og teori kan også sette resultatene i casestudiet i en større sammenheng, og dermed øke generaliserbarheten til funnene. Litteraturen gjør det også mulig å identifisere sammenhenger mellom empiri og teori som kan bidra til å trekke nye slutninger. Eksempelvis vil det for FS4 være aktuelt å finne sammenhenger mellom utfordringer ved 3D skanning for kvalitetssikring funnet i empirien og teori vedrørende den teknologiske utviklingen. Ved å knytte empiri og teori opp mot hverandre kan det potensielt oppdages nye sammenhenger som kan bidra til å skape ny kunnskap.

Intervju

Arbeiderne som jobber tett på verktøyet er vurdert som den beste kilden til informasjon. Intervju ble i denne sammenheng sett på som et naturlig valg av metode for å tilnærme seg arbeiderne ettersom metoden gir mulighet til å stille oppfølgingsspørsmål og å ha en friere dialog. Sett i sammenheng med at forskernes kunnskap til verktøyet er begrenset til teori, det at verktøyet kun er i bruk i enkelte prosjekter og de valgte forskningsspørsmål ble dermed intervju valgt som metode for å innhente primærdata.

Dokumentstudie

Ifølge Yin (2009) vil informasjon fra dokumenter mest sannsynlig være relevante ved alle casestudier. Etter samtaler med informantene kom det frem at de besittet dokumentasjon som kunne støtte forskningen. Dokumentstudie ble dermed valgt som metode for å innhente sekundærdata som kunne prøves mot funn i intervjuene. I denne oppgaven ble dokumentstudiet brukt for å innhente tidligere erfaringer med bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring. Det er også valgt å gjøre en dokumentgjennomgang for å identifisere hvilke avvik som blir funnet ved bruk av 3D laserskanning.

2.3 Litteraturstudie

Hensikten med litteraturstudien er å danne et teoretisk grunnlag basert på tidligere forskning. Litteraturstudien tar utgangspunkt i arbeid utført i emnet *TBA4531 Prosjektledelse, fordypningsprosjekt* (Aase & Egeland, 2021a), og inkluderer litteratursøk utført i tilknytning til emnene *TBA4128 Prosjektledelse VK* og *TBA4151 Anleggsteknikk VK* (Aase & Egeland, 2021b). For å sikre et solid teoretisk rammeverk etter hvert som tema for masteroppgaven ble ytterligere definert var det behov for en mer spisset litteraturinnhenting våren 2022. Videre følger en detaljert forklaring av gjennomføringen av litteraturstudien. For fullstendig dokumentasjon av litteraturstudien henvises det til vedlegg A.

2.3.1 Valg av litteratursøk

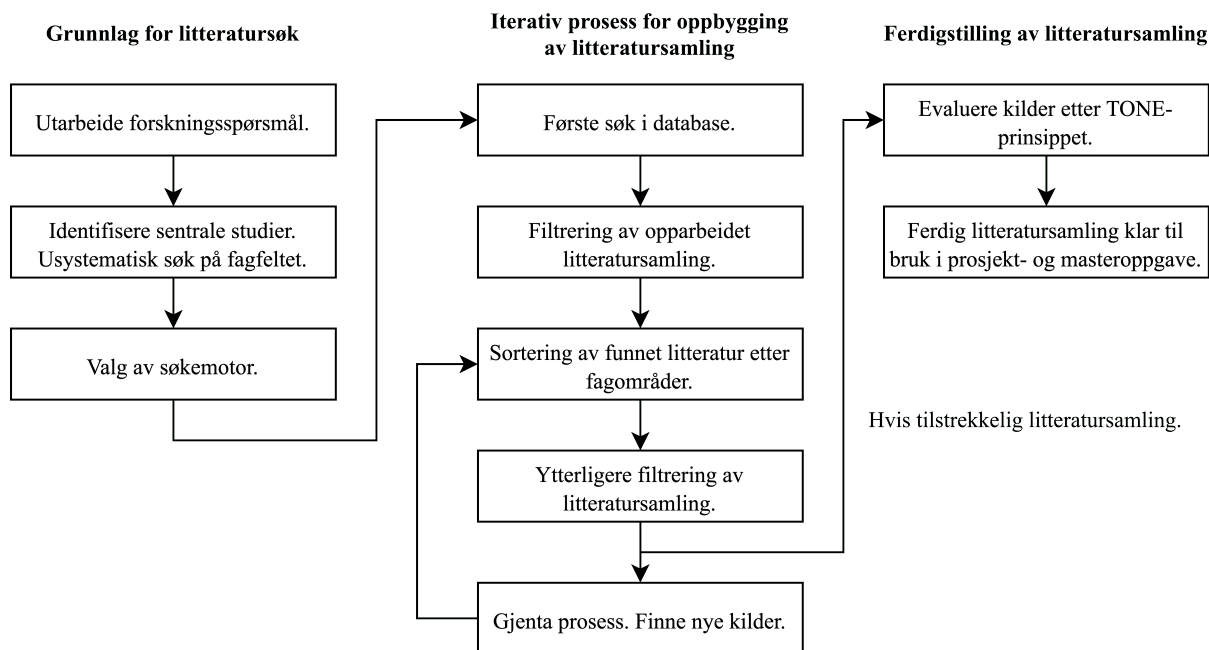
Litteraturstudien er utført som en *scoping review*. Arksey og O'Malley (2005) forklarer en scoping review som en studie som har til hensikt å raskt kartlegge potensialet i forskningsområder, og hvilke hovedkilder og andre informasjonskilder som er tilgjengelig. Et alternativ til scoping review er systematiske litteraturstudier (Arksey & O'Malley, 2005). En systematisk studie har til hensikt å innhente all tilgjengelig data om et spesifikt tema og har ofte varighet på ett år eller mer.

Scoping review er vurdert til å være det gunstigste valget fordi litteraturstudien fungerer som en introduksjon til forskningstemaet i form av et teoretisk rammeverk. Det stilles dermed ikke krav til at det skal være like detaljert som i en systematisk studie (Arksey & O'Malley, 2005). Valget begrunnes med begrensninger tilknyttet tidsbruk. Der kartleggingen måtte gjennomføres raskt nok slik at andre deler av studien kunne påbegynnes. Ifølge Arksey og O'Malley (2005) gjennomføres en scoping review, i likhet med systematiske studier, med en systematisk fremgangsmåte hvor det gradvis opparbeides en større litteratursamling.

2.3.2 Fremgangsmåte

Fremgangsmåten for litteratursøket følger en tilpasset versjon av Arksey og O'Malley (2005) sitt presenterte rammeverk for scoping reviews. På grunn av at det ikke finnes noen uniform fremgangsmåte som egner seg til alle litteraturstudier er det valgt å gjøre tilpasninger av stegene i rammeverket. Tilpasning av prosessen for sortering av litteraturen er gjort etter en anbefaling gitt i Levac et al. (2010).

De anbefaler at sorteringen foregår som en iterativ prosess hvor det regelmessig blir gjort oppdateringer av litteratursamlingen. Fremgangsmåten for litteratursøket er vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Fremgangsmåte for litteratursøk (basert på Arksey & O'Malley, 2005; Levac et al., 2010).

Valg av søkemotorer

Innhenting av litteratur ble utført ved å søke i et relativt lite utvalg av søkemotorer. Den vitenskapelige søkemotoren Ei Compendex er hovedsakelig benyttet for å innhente fagfelleverdert litteratur. For å innhente et bredere spekter av litteratur, utover fagfelleverderte artikler, er det utført søk i søkemotoren Google søk. Valget med å bruke Google søk begrunnes med at temaet for oppgaven er relativt nytt og dermed kan det være begrensninger på tilgjengelig dagsaktuell informasjon i vitenskapelige artikler. Tabell 2.1 viser hvilke søkemotorer som er benyttet for å utføre litteraturstudien.

Tabell 2.1: Benyttede søkemotorer.

Søkemotor	Forklaring av søkemotor og bruk.
Ei Compendex	Bred og komplett ingeniørfaglig database med fagfelleverdert litteratur (Elsevier, 2021b). Benyttet som hoveddatabase på bakgrunn av sitt brede utslagsfelt.
SCOPUS	Database som dekker et bredt spekter av fagområder med god datakvalitet og fagfelleverdert litteratur (Elsevier, 2021a). Brukt sammen med Compendex for å finne antall sitering for treff, og brukt til å gjøre søk sortert etter antall siteringer.
Google søk	Verdens største søkemotor. Er benyttet for å innhente informasjon fra bransjeaktører, tekniske ukeblad og andre nettsider som skriver om oppgavetemaet.

Søketeknikk og -strategi

Det ble benyttet frasesøk for å sikre at søkeord kom i riktig rekkefølge for treffene i søkemotorene. Kombinasjonssøking ved bruk av «AND» og «OR» funksjoner ble benyttet for å ytterligere avgrense søkene, sammen med filtreringer som dokumenttype, språk og tidsavgrensning slik som anbefalt av NTNU Universitetsbiblioteket (2017). Dersom søkene resulterte i en u håndterlig mengde treff ble det lagt til flere søkeord i frasen, og eventuelt filtre. Tabell 2.2 viser hvordan søkeprosessen ble utført for å finne en håndterbar litteraturmengde. Av de syv relevante treffene ble tre kilder tatt med i endelig litteratursamling etter videre utvelgelse slik som forklart i lesestrategien.

Tabell 2.2: Eksempel på frasesøk i Ei Compendex med avgrensning.

Søkefrase	Filter	Antall treff	Relevante treff
«Scanning» AND «BIM» AND «Quality»	Engelsk	93	Høyt antall treff. Filtre ytterligere.
«3D» AND «Scanning» AND «BIM» AND «Quality» AND «Construction»	Engelsk, 2015-nå	35	7

Utover ordinære søk i søkemotorene inngår også «citation chaining» og «backwards snowballing» i søkestrategien. «Citation chaining» betyr at en sentral kilde med flere siteringer blir brukt som utgangspunkt for å finne andre kilder (Wohlin, 2014). Ved bruk av «citation chaining» oppdages alltid nyere kilder enn den som var utgangspunktet for søket. Dette er vurdert som svært nyttig tatt oppgavens tema i betraktning. «Backwards snowballing» er motsetningen til «citation chaining» og betyr at man går tilbake i tid for å finne relevante kilder ved å se på referanselisten til artikler (Wohlin, 2014). For begge metodene er prosessen grundig dokumentert slik at kildens opphav tydelig fremkommer. Snowballing ble ved flere anledninger benyttet for å identifisere primærkilden for informasjon, samt for å finne informasjon av en mer spesifikk karakter etter hvert som artiklene ble studert. Enkelte kilder er også hentet fra kildedatabaser som er opparbeidet gjennom masterstudiene. I tillegg har også veiledere bidratt med å dele relevante kilder.

Lesestrategi

Litteratur funnet etter første søk ble gjennomgått ved å lese tittel og nøkkelord før kildens relevans ble vurdert. Deretter fulgte en grundigere vurdering av innholdet i kilden basert på sammendrag og en rask gjennomgang av artikkelens struktur. Siste ledd av lesestrategien innebar en grundigere gjennomlesning av kildene for å endelig vurdere om litteraturen var relevant for oppgaven.

2.3.3 Evaluering av litteratur

For å sikre reliabilitet og validitet er kildene kritisk evaluert etter «TONE-prinsippet». «TONE» står for troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og egnethet (NTNU Universitetsbiblioteket, 2017). Tabell 2.3 oppsummerer hva som inngår i evalueringen under de ulike kriteriene i «TONE-prinsippet». Evaluering av kilder finnes i vedlegg A.8.

Tabell 2.3: Forklaringen av TONE-prinsippet (basert på NTNU Universitetsbiblioteket, 2017).

Kriterier	Forklaring
Troverdighet	Sjekk av troverdighet til forfatter og utgivende tidsskrift. Hvilken institusjon har forfatter tilknytning til, hvilken utdanning og om forfatterne hadde tidligere utgitte verk med flere siteringer eller om forfatter er anerkjent på annen måte. Det ble også sjekket om teksten benyttet IMRaD-strukturen. For å undersøke forfattere ble nettsiden Researchgate benyttet sammen med universitetenes nettsider og LinkedIn. Tidsskriftene er undersøkt ved bruk av «Register over vitenskapelige publiseringskanaler» (DBH publiseringskanaler, 2021).
Objektivitet	Omhandler hvordan litteraturen er presentert i kildene. Det er utført en kontroll av om data samsvarer med annen forskning. Kildelistene til artiklene ble nøye vurdert for å undersøke om kildene benyttet informasjon av god kvalitet. Det ble utført vurderinger knyttet til om tekstene hadde en informativ karakter eller om den har til formål å overbevise eller selge et produkt. Det ble også undersøkt om kildene belyste flere sider i sin diskusjon.
Nøyaktighet	Gjennomgang av forskningsartiklenes metodekapittel for å sjekke hvor detaljert forskningsprosessen er forklart. Sjekk av hvilket år kildene er utgitt, og om deres benyttede kilder er av nyere dato. Til slutt ble det gjort en vurdering av om resultatene i kildene kunne bekreftes av andre kilder.
Egnethet	Handler om hvor godt kildene passer til å svare på forskningsspørsmålene. Kriteriet inkluderer sjekk av relevans for temaet, og i hvilken grad litteraturen tilfører ny kunnskap. Det ble også gjort en vurdering av hvem artikkelen er skrevet for og hvilken påvirkning dette har for hvordan innholdet i kilden kunne brukes.

2.3.4 Styrker og svakheter

En litteraturstudie er vurdert som en god metode for å undersøke eksisterende forskning og for å tilegne seg kunnskap innenfor det valgte fagområde. Den største styrken i den valgte metoden ligger i den grundige dokumentasjonen av studien. Dette bidrar til å styrke oppgavens reliabilitet. Dokumentasjonen gjør det mulig for andre forskere å sette seg inn i og forstå hvordan akkurat denne litteraturstudien er utført.

En identifisert svakhet ved litteraturstudien er knyttet til filtreringen av innhentet litteratur. Gjennom de ulike filtreringsstegene i metoden ble det gjort subjektive vurderinger av kilders relevans. Subjektivitet kan ha medført til feilvurderinger. Filtreringsprosessen kan potensielt ha ført til at relevant forskning har blitt oversett. En annen svakhet i litteratursøket er at de valgte søkeordene og frasene ikke nødvendigvis er de mest hensiktsmessige for det søket opprinnelig var tiltenkt. Forskjeller i terminologi mellom ulike språk og kilder representerte en utfordring. Denne feilkilden kan ha bidratt til at relevant litteratur ikke ble oppdaget i søket.

2.3.5 Begrensninger

En begrensning med litteraturstudien er at det kun ble benyttet tre databaser til informasjonshenting. Dette kan potensielt ha ført til at noe litteratur ikke ble funnet fordi søkene ikke nådde bredt nok ut. Etersom litteratursøket er gjennomført som en scoping review vil det ikke være mulig å avdekke all tilgjengelig informasjon om det valgte tema. Sett opp imot formålet med oppgaven ble det tatt en beslutning på at denne svakheten er mindre enn fordelene med metoden. Likevel er det viktig å ha dette i tankene ved bruk av litteratur funnet i litteratursøket.

2.4 Case studie

Casestudie er en empirisk studie som adresserer et dagsaktuelt fenomen i dybden innenfor dets virkelige kontekst (Yin, 2009). Metoden kan sies å være altomfattende og dekker alt fra forskningslogikk til design, datainnsamlingsteknikker og spesifikke tilnærminger til dataanalyse.

Valg av metode

Yin (2009) presenterer to tilnærminger for casestudier, enkeltcasestudie og flercasestudie. Ved flercasestudier hentes det inn data fra flere caser som eksempelvis kan være forskjellige byggeprosjekter. På den andre siden finnes enkeltcasestudier som innhenter informasjon fra en case som eksempelvis kan være ett byggeprosjekt. Enkeltcasestudie kan være et fordelaktig valg dersom det skal forskes på et tema hvor utbredelsen av forskningen ikke er særlig stor (Yin, 2009). På den andre siden kan bevisene fra flere caser ofte anses som mer overbevisende og den samlede studien kan dermed anses som mer robust. En ulempe med flercasestudie er at den i større grad er tid- og ressurskrevende. Dette kan føre til at det blir mindre tilgjengelig tid for å studere hver enkelt case.

Det er valgt å utføre en flercasestudie hvor erfaringer med bruk av 3D laserskanner for KS på ulike byggeprosjekter ble benyttet som caseobjekter. Flercasestudien ble gjennomført som en holistisk casestudie hvor erfaringene med 3D laserskanning for KS ble analysert i sammenheng med sine tilhørende byggeprosjekter før sammenhenger deretter ble trukket på tvers av casene. Det antas at ulikheter ved byggeprosjektene som deres størrelse, kvalitetssystemer og andre faktorer påvirker bruken av 3D laserskanning for kvalitetssikring. Det vil dermed kunne være vanskelig å forstå erfaringene med verktøyet uten å se nærmere på omgivelsene verktøyet brukes i. Disse sammenhengene er viktige å oppdage med tanke på masteroppgavens generaliserbarhet ettersom byggeprosjekter er unike av natur.

AF Gruppen og Betonmast ble naturlige valg av entreprenørkonsern for casestudien ettersom entreprenørene er en del av forskningssamarbeidet Construction City Cluster som denne masteroppgaven har sitt utsprang fra. Erfaringene med 3D laserskanning for KS stammer fra en rekke ulike byggeprosjekter hos de to entreprenørene. I de fleste prosjektene har firmaene vært totalentreprenør. Prosjektene inkluderer både nybygg- og rehabiliteringsprosjekter og er av ulike typer, alt fra næringsbygg, boliger, hotell, museum og skoler.

2.4.1 Intervju

Intervju er en metode for datainnsamling hvor forskeren kommuniserer med informanter i den hensikt å samle kunnskap og meninger for deretter å tolke og forme informasjonen til relevante og pålitelige data (Dalland, 2017). Videre følger en forklaring av gjennomføringen av de kvalitative intervjuene.

Valg av metode

Kvalitative intervjuer kan deles inn i semistrukturerte intervjuer, også kalt dybdeintervjuer, eller ustrukturerte intervjuer (Blumberg et al., 2014). I semistrukturerte intervjuer benyttes åpne spørsmål som gir informantene rom til å gå i dybden der de ønsker. Dette kan være områder som informantene opplever som spesielt viktige eller hvor de har mye å fortelle. Formålet med å velge en semistrukturert intervjuform er å oppdage momenter som vanskelig kunne identifiseres på forhånd, og dermed ikke naturlig vil bli stilt i ett mer strukturert intervju. Ett strukturert intervju har fordelen av at det kan stilles flere spørsmål raskere samtidig som de teorier og tema som forskerne ser på som viktige blir belyst. På grunn av manglende informasjon rundt hvilke faktorer som er viktige for å svare på problemstillingen er det vurdert som fordelaktig å ikke benytte seg av en strukturert intervjuform. Det er i stedet valgt å benytte en semistrukturert framgangsmåte, hvor en veksler mellom mer konkrete og åpne spørsmål, for å få mest mulig ut av intervjuene innen den begrensede tiden informantene er tilgjengelige.

Fremgangsmåte

Arbeidet med intervjuene startet med å utarbeide en intervjuguide. Intervjuguiden var omfattende og skulle få frem erfaringene som intervjuobjektene hadde ved 3D laserskanning for KS. Spørsmålene i intervjuguiden har sitt utsprang fra tidligere intern datainnhenting i AF Gruppen og kunnskap fra litteratur. Etter diskusjoner og idémyldring blant forfatterne ble det valgt ut spørsmål som var interessante innenfor temaene verdiskaping, forutsetninger og utfordringer. Det ble i februar 2022 gjennomført et pilotintervju for å teste ut intervjuguiden. Pilotintervjuet førte til at det var mulig å gjøre justeringer på spørsmål i intervjuguiden og i intervjuteknikk. Dette innebar å legge til enkelte spørsmål, forberede oppfølgingsspørsmål og å endre måten enkelte spørsmål ble stilt for å unngå å påvirke intervjuobjektet med ledende spørsmål. Etter hvert som flere intervju ble gjennomført dukket det opp et interesseområde som ikke den originale intervjuguiden adresserte. Dermed ble det utarbeidet en ny intervjuguide med et mer spisset fokusområde. Begge intervjuguidene er tilgjengelig i vedlegg B.

Intervjuene er utført ved å bruke fremgangsmåte i henhold til Tjora (2010) hvor intervjuguiden fungerte som et utgangspunkt. Det ble først stilt åpningsspørsmål for å «varme opp» intervjuobjektene og gjøre de klare til videre spørsmål. Videre fulgte hoveddelen med spørsmål hvor intervjuobjektene gikk i dybden på ulike temaer og oppfølgingsspørsmål ble stilt ved behov. Avslutningsvis ble det stilt spørsmål for å fange opp punkter som var glemt eller av andre årsaker ikke var blitt nevnt. Underveis i intervjuene ble det gjort tilpasninger av spørsmålene i intervjuguidene etter omstendighetene slik at spørsmålene passet til hvert enkelt intervjuobjekt. Eksempelvis ble det avveket fra enkelte spørsmål dersom intervjuobjektene ikke hadde tilstrekkelig kunnskap om temaet. Det ble da heller lagt ett ytterligere fokus på de områdene intervjuobjektet hadde kunnskap om.

Alle intervjuene ble utført digitalt over Microsoft Teams og hadde en varighet på 1-1.5 time. Det ble gjort lydopptak av alle intervjuer som i ettertid ble transkribert. Det ble benyttet opptak for å unngå forstyrrelser under intervjuet som følge av notering. Opptakene fungerte også som en sikring mot at data skulle gå tapt i intervju- og transkriberingsprosessen.

Totalt ble det gjennomført ni semistrukturerte intervjuer. De ni intervjuobjektene stammer fra to konsern og seks firma. Til sammen har intervjuobjektene erfaring fra 15 prosjekter hvor skanning for KS er blitt benyttet. Intervjuobjektene har ulike stillinger på ulike nivå i konsernene. Dette påvirker deres kjennskap og tilknytning til temaet. De ulike bakgrunnene medførte at flere av intervjuobjektene hadde ulike tilnærminger til utstyr og prosesser tilknyttet laserskanning. Ulike tilnærminger er fordelaktig for å få frem flere perspektiver om bruken av 3D laserskanning for KS som videre danner et mer helhetlig bilde på situasjonen. Stillingene til intervjuobjektene kan oppsummeres slik:

- 2 Innovasjonsledere på konsernnivå - Arbeider overordnet med implementering og oppfølging av innovasjonsløsninger som blant annet 3D laserskanning i konsernet.
- 6 BIM og digitaliseringsledere på firmanivå, BIM koordinatorene og prosjektingeniører - Arbeider direkte med utførelsen av 3D laserskanning på byggeprosjekter.
- 1 KS-sjef på firmanivå - Arbeider med kvalitetsledelse på firmanivå.

Valg av intervjuobjekter startet med innledende samtaler med innovasjonsleder i AF Gruppen som henviste til tre aktuelle intervjuobjekter. Videre ble andre aktuelle informanter valgt etter tips fra allerede intervjuede personer. På denne måten kom man fram til et utvalg av intervjuobjekter der de med mest kjennskap til verktøyet i de to konsernene var inkludert. Ved de siste intervjuene ble det observert at de aller fleste svar gikk igjen, og at det ble tilført lite ny informasjon, samtidig som det var få aktuelle intervjuobjekter igjen med direkte kjennskap til verktøyet i de to konsernene. Dette kan tyde på at omfanget av intervjuer var dekkende innenfor masteroppgavens satte rammer.

Styrker og svakheter

En potensiell svakhet og feilkilde tilknyttet oppgavens reliabilitet er feiltolkninger av innsamlet data. Feiltolkninger av spørsmålene som ble stilt i intervjuet kan også ha skjedd. Intervjuere og intervjuobjektene antas å ha foretatt flere subjektive vurderinger. Selv om dette gir rom for feiltolkning kan den subjektive dataen fra intervjuene ifølge Tjora (2010) være en styrke ved metoden. Tjora (2010) skriver at dersom en studie har som hensikt å avdekke erfaringer og kunnskap om et gitt tema så vil det ikke nødvendigvis være en kritisk svakhet at dataen er mindre presis.

Det er også en mulighet for feil i resultatene som en følge av at enkelte intervjuobjekter kan ha hatt utilstrekkelig eller begrenset kunnskap, eller at det ble stilt dårlig formulerte spørsmål. Dette kan ha ført til at ikke alle sidene ved 3D laserskanning for KS er blitt identifisert og drøftet. Ved intervjuer er det også en fare for at intervjuobjektene blir ledet inn mot ønskede svar ved at styrende spørsmål blir stilt. Slike styrende spørsmål kan potensielt føre til bias i forskningen. For å unngå denne utfordringen er åpne spørsmål nyttig for hvert hovedtema. Åpne spørsmål legger til rette for at intervjuobjektene kan prate fritt hvor en dernest vil kunne sammenligne disse svarene mot svar på de mer direkte spørsmålene. På denne måten kan objektiviteten verifiseres.

Intervjuene skal ideelt utføres slik at de kan etterprøves av en annen forsker som da vil oppnå de samme resultatene. Ettersom intervjuene er utført som semistrukturerte intervju vil ikke intervjuene være utført nøyaktig likt. Dette kan medføre en svekkelse i etterprøvbarehet. Intervjuguiden sikrer allikevel reliabiliteten til en viss grad ved at den fungerer som en sjekkliste for de viktigste punktene i intervjuet. For å ytterligere sikre reliabiliteten til forskningen er det som nevnt valgt å ta lydopptak av alle intervjuene for så å transkribere dem. På denne måten vil det være mulig for en annen forsker å gjennomgå resultatene ved etterspørsel. Knyttet til utarbeidelsen av intervjuguiden representerer det grundige forarbeidet blant annet utført i prosjektoppgaven en styrke ved intervjuene. Den omfattende intervjuguiden sikret at intervjuene ga informasjon som var relevant. Dette styrker dermed oppgavens validitet.

Begrensninger

Tidsbegrensningen i forbindelse med oppgaven førte til at det er valgt å holde seg til å intervju to aktører i BA-bransjen. Det er mulig at det finnes andre aktører som sitter på nødvendig kunnskap for å kunne komme til mer riktige konklusjoner. Informanter fra leverandørsiden er vurdert som en mulighet, men er valgt bort. Leverandørsiden er valgt bort fordi det var ønskelig med mest mulig direkte data som gir indikasjoner på utfordringer. Dersom leverandørene hadde vært involvert kunne potensielt dataen vært utsatt for forskningsbias ved at leverandørene prøver å selge sitt produkt og dermed ikke forteller hele sannheten. Med tanke på at entreprenøren er bruker av verktøyet, og dermed ikke har et slikt behov, er dette vurdert som en mer pålitelig kilde for å innhente gode vurderinger.

2.4.2 Dokumentstudie

En dokumentstudie er en systematisk prosedyre for å analysere eller evaluere dokumenter (Bowen, 2009).

Valg av metode

Det er valgt å benytte dokumentstudie til innhenting av sekundærdata i masteroppgaven. Flere av intervjuobjektene hadde tilgjengelig dokumenter av betydning for temaet. Ved bruk av disse dokumentene kunne mye av informasjonen fra intervjuene trianguleres og valideres

Fremgangsmåte

To relevant presentasjoner og ett erfaringsdokument ble benyttet for å anskaffe praktiske erfaringer fra bransjen. Dokumentene var laget i forbindelse med en intern evaluering av erfaringer ved bruk av 3D laserskanning for KS hos entreprenøren AF Gruppen. Fra dokumentene er praktiske erfaringer og nøkkelinformasjon fra tre byggeprosjekter ekstrahert og sammenlignet med empiriske funn fra intervju for å avdekke forskjeller. I tillegg er det utført en gjennomgang av dokumenter fra to programplattformer. Programplattformene inneholdt en fremstilling av resultatene etter utført 3D laserskanning. Det var dermed mulig å gå gjennom informasjonen og få innsikt i hvordan 3D laserskanning for KS fungerer, samt undersøke hvilke avvik som identifiseres.

Styrker og svakheter

Dokumentene inneholder svært konkret informasjon som dermed gjør dem enkle å forstå og undersøke. Det faktum at dataene er fra ulike prosjekter utført av ulike prosjektgrupper styrker reliabilitet og validiteten av informasjonen.

En svakhet er at informasjonen gitt i dokumentene er sekundærdata. Dette innebærer en fare for at informasjon kan være presentert på en ukritisk måte, noe som videre kan føre til at funn ikke stemmer. Det ble tatt hensyn til denne fallgraven ved å intervju flere av de som utarbeidet dokumentene. Resultatene fra dokumentene ble også sammenlignet med hverandre, tekniske data fra leverandører og forskningslitteratur.

En annen svakhet med denne dokumentstudien er at teknologien som beskrives er i hurtig utvikling, noe som kan føre til at noe av dataene kan være utdatert. Teknologien er også relativt ny for entreprenøren, noe som kan påvirke resultatene. Selv om informasjonen er fra de siste tre årene er det opplyst om at metodene er under kontinuerlig forbedring og at enkelte utfordringer, både tekniske og brukermessige, allerede har blitt utbedret i prosjekter som entreprenøren gjennomfører for øyeblikket.

Begrensninger

En begrensning i dokumentstudien er mengden tilgjengelige dokumenter angående 3D laserskanning for KS fra de to konsernene. Det er generelt ført veldig lite statistikk rundt bruken av 3D laserskanning. Dette kan blant annet begrunnes med at verktøyet er såpass nytt. Den tilgjengelige datamengden er likevel vurdert til å være av tilstrekkelig kvalitet for bruk i studien.

2.4.3 Avviksanalyse

Det er utført en analyse av avvik som er identifisert med 3D laserskanner på byggeprosjekter. Avviksanalysen består av data fra seks byggeprosjekter i AF Gruppen og Betonmast. Denne dataen består av fire intervjuer, to avviksregistre i Imerso samt en erfaringspresentasjon. Datagrunnlaget som analysen bygger på er en sammenstilling av informasjon hentet fra både intervju- og dokumentstudien. Dataen er derfor ikke unik for denne analysen. Med bakgrunn i kommunikasjon og kommentarer fra ingeniører på byggeprosjektene er mulige alternativer for løsninger på avvikene og deres konsekvens vurdert. Analysen gir en oversikt over de ulike avvikstypene som typisk er funnet med 3D laserskanner på prosjektene, og beskriver hvilke effekter en tidlig deteksjon av avvikstypen vil kunne medføre.

2.5 Dataanalyse

Den kvalitative analysen har som mål å generere lesbar informasjon fra mengden av rådata som er innhentet i forskningsprosjektet (Tjora, 2010). Videre i delkapittelet beskrives hvordan empiri og teori er analysert og sammenstilt for å utvikle konsepter og teorier som kan besvare oppgavens forskningsspørsmål.

2.5.1 Valg av metode

Ettersom en kvalitativ analyse kan oppleves som omfattende og kompleks er en analysemetode som bryter analysen opp i mindre steg vurdert som fordelaktig. Oppgavens problemstilling ansees å ha en eksplorerende karakter hvor det forsøkes å danne ny kunnskap på et område med lite forhåndskunnskap. En induktiv prosess hvor man jobber fra data mot teori ansees derfor som den naturlige hovedprosessen for analysen. På bakgrunn av oppgavens problemstilling og datagrunnlag er det valgt å analysere forskningsdata basert på Tjora (2010) sin stegvise deduktiv-induktive metode. Metoden er nært knyttet til prinsipper rundt tematisk koding og har som formål å hente ut essensen av det empirisk materiale ved å redusere volumet av data gjennom en stegvis prosess. Metoden legger også til rette for å oppnå idégeneraliserbarhet basert på viktige empiriske momenter.

2.5.2 Fremgangsmåte

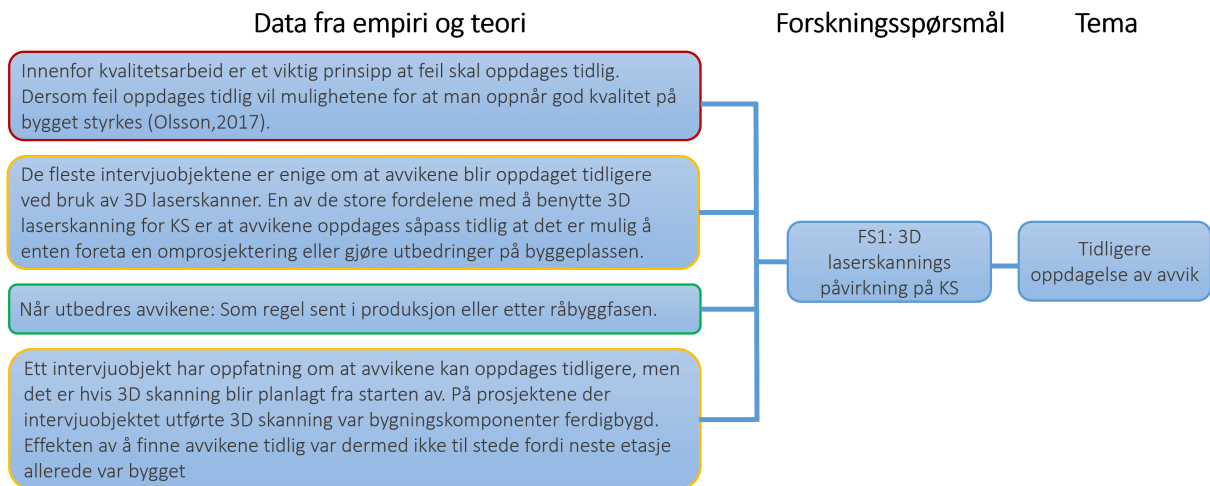
Dataanalysen for intervjuene startet med en gjennomlesning av transkriberte dokumenter. Gjennomlesingen resulterte i notater med sentrale punkter fra hvert intervju. Informasjon ble videre inndelt i kategorier for å kunne sammenligne data fra ulike intervjuobjekter. Alle de brukte kategoriene tilhørte et større temaområde. Den valgte kodegrupperingen og tematiseringen var utgangspunktet for strukturen til resultatkapittelet hvor analysen er presentert. Figur 2.2 viser hvordan data fra intervjuene er delt inn i kategorier og tema. Fargekodingen er brukt for å vise hvilket intervjuobjekt informasjonen hadde sitt opphav fra. Sortering ble ansett som sentral fordi intervjuobjektene ulike kunnskaper, erfaringer og stillinger påvirker analysen. Behandling av data fra dokumentstudien handlet i stor grad om å sortere informasjon inn i de allerede eksisterende kategoriene og temaene fra intervjuene.



Figur 2.2: Eksempel på kategorisering og tematisering av empirisk data.

Videre ble hvert tema samlet i hvert sitt resultatdelkapittel. Deretter ble avviksanalysen gjennomført på bakgrunn av relevante resultater og kommunikasjon med ingeniører fra prosjektene. Resultatene fra empiri og teori ble så satt opp mot hverandre for å finne sammenhenger, motsetninger og dilemmaer for diskusjon. Diskusjonen ble strukturert ved å trekke inn de data som var relevante for å besvare på de respektive forskningsspørsmålene. Hvert forskningsspørsmål ble igjen delt inn i flere temaer hvor hvert

enkelt tema fikk sin underoverskrift. Potensielt viktige sammenhenger, motsetninger og dilemmaer ble skrevet ned separat av begge forfatterne før de ble diskutert med et kritisk blikk for å detektere de sentrale funnene, utelukke tynne resonnement og kontrollere at ingen viktige poeng var utelatt. Figur 2.3 viser et eksempel på hvordan ulike resultater fra teori og empiri ble satt opp mot hverandre og tilknyttet ett spesifikt forskningsspørsmål. De ulike fargene i figuren representerer hvorvidt dataen stammer fra forskningslitteratur, intervju eller dokumentstudie. På bakgrunn av drøftingen av resultatene i diskusjonskapittelet ble nye konsepter, teorier og anbefalinger utviklet som et svar på forskningsspørsmål og problemstilling.



Figur 2.3: Eksempel på kategorisering og tematisering av empiri og teori for diskusjon.

2.5.3 Stryker og svakheter

En styrke ved dataanalysen er at den ble planlagt og gjennomført som en systematisk og relativt transparent prosess. Dataanalysen følger som nevnt den stegvis deduktiv-induktive metoden som fører til at det er enkelt å se hvor resonnementene i diskusjonen stammer fra, noe som også støtter etterprøvnbarheten.

En svakhet ved analysen er at den i noen grad beror på subjektive tolkninger av sammenhenger og temakoding. Ved å velge bort informasjon til fordel for andre data vil man alltid kunne risikere at relevant data kan gå tapt. Dette kommer av subjektive vurderinger. Subjektive vurderinger vil kunne svekke validiteten til forskningsresultatene. For å motvirke denne svakheten ble det gjennomført sidemannskontroll ved alle stegene av dataanalysen. Ettersom analysen ble gjennomført av to forfattere har hvert enkelt steg i dataanalysen kunne blitt to-trinn verifisert. Temaene er først skissert av hver enkelt og deretter ved diskusjon. Dette kan ha ført til at færre viktige momenter er blitt utelatt.

En annen svakhet er at forfatterens tolkning av den innsamlede data beror på en begrenset mengde kilder, noe som gjør det utfordrende å luke ut eventuelle svake kilder og forstå helheten av alle tema. Forenklinger som er tatt ved å sammenligne data fra ulike prosjekter kan også anses som en svakhet ved dataanalysen. Ettersom byggeprosjekter er komplekse og det studerte temaet er lite forsket på før er det utfordrende å se alle sammenhenger som påvirker hverandre. Antagelser og forenklinger kan dermed føre til at konklusjonene av diskusjonen kan virke mer generaliserbare enn de i realiteten er.

2.5.4 Begrensninger

Selv med relativt få informanter i studien ga intervjuene et svært omfattende datagrunnlag. Det har vært en tidkrevende prosess å gjennomgå og analysere den empiriske dataen som er innhentet i denne studien. Det var derfor nødvendig å begrense hvilke deler som skulle inkluderes i oppgaven. Data som i størst mulig grad bidro til å svare på forskningsspørsmålene ble prioritert. Den resterende dataen ble benyttet til å danne perspektiver på de ulike temaene. Tidsutfordringen har også ført til at det ikke har vært mulig å gjennomføre ytterligere runder med datainnsamling på de stedene hvor det ble oppdaget et noe magert datagrunnlag. Det kan argumenteres for at man ved en større mengde tilgjengelig ressurser kunne man ha utført en mer omfattende analyse av funnene.

2.6 Gjenbruk fra prosjektoppgave

Forskningsarbeidet i tilknytning til masteroppgaven startet høsten 2021 med utarbeidelse av en prosjektoppgave (Aase & Egeland, 2021a). Deler av dette arbeidet er videreført til denne oppgaven. Fra prosjektoppgaven til masteroppgaven er det likevel gjort en del endringer på arbeidet for å gjøre det mer presist og konkret i forhold til masteroppgavens formål og problemstilling. Følgende punkter er delvis gjenbrukt fra prosjektoppgaven:

- **Metodebeskrivelse** — Dette inkluderer beskriver av generell forskningsmetode, litteraturstudie og noe av metodebeskrivelse for dokumentstudie.
- **Teori** — Deler av det teoretiske rammeverket stammer fra prosjektoppgaven. Det fremkommer tydelig i vedlegg A hvilke kilder som er funnet gjennom litteratursøk høsten 2021 og hvilke som er funnet våren 2022.
- **Dokumentstudie** — Resultater fra dokumentstudie av tidligere erfaringer med 3D laserskanning for KS er gjenbrukt, men det er gjort modifikasjoner slik at det komplimenterer funn fra intervjuene.

Teoretisk rammeverk

Dette kapittelet presenterer relevant teori som videre blir satt i sammenheng med resultatene i diskusjonskapittelet. Kapittelet er delt inn etter tema og starter med en beskrivelse av digitalisering i BA-bransjen og generell implementering. Videre blir BIM, kunstig intelligens og 3D laserskanning forklart. Avslutningsvis blir relevant teori knyttet til kvalitet presentert.

3.1 Digitalisering i BA-bransjen

Byggenæringens landsforening (BNL) fastslår at gevinstpotensialet ved økt digitalisering av byggenæringen er opp mot 20 % (Hjelseth, 2019). Sagt med andre ord så kan næringen oppnå en årlig besparelse på 100 milliarder dersom bransjen blir heldigital. Byggenæringen har i løpet av de siste tiårene investert mye for å få til en digital transformasjon (Botton et al., 2021). I sentrum av denne transformasjonen, som går under navnet Construction 4.0, finner man teknologi som BIM, kunstig intelligens (AI) og et hav av annen ny teknologi.

3.1.1 Digitalisering begrepsforklaringer

Begrepet digitalisering brukes i stadig flere sammenhenger, alt fra hverdagslige samtaler og avisartikler til viktige diskusjoner blant politikere og toppledere i ledende organisasjoner (Osmundsen et al., 2018). Det snakkes også oftere om begreper som digital innovasjon og digital transformasjon. Selv om begrepene i dag benyttes stadig oftere er det ikke alltid de samme definisjonene som ligger til grunn. Derfor er det nødvendig å forklare hva de ulike uttrykkene betyr, hva de innebærer og hvordan de henger sammen.

Digitisering

En forutsetning som ligger til grunn for de tre overnevnte begrepene er digitisering (Osmundsen et al., 2018). Digitisering defineres som det å konvertere analog informasjon over til et digitalt format (Mergel et al., 2019; Osmundsen et al., 2018). Eksempelvis kan det å endre sjekklister fra å være på papir til å være tilgjengelige digitalt kategoriseres som digitisering. Osmundsen et al. (2018) trekker frem at litteraturen beskriver digitisering som en av de største driverne for digitalisering i bedrifter og i samfunnet generelt.

Digitalisering

Osmundsen et al. (2018) forklarer digitalisering som prosessen med å benytte digital teknologi til å endre på en eller flere sosio-tekniske strukturer i bedrifter eller organisasjoner. Eksempelvis kan det å ta i bruk en mobilapp til å registrere avvik på byggeplassen kategoriseres som digitalisering. Dette er en endring i prosessen for avviksrapportering ved bruk av digital teknologi. For å få til digitalisering av BA-bransjen mener Jazzar et al. (2020) at det trengs et prosessorientert tankesett, i motsetning til det mer tradisjonelle prosjektorienterte tankesettet. Et prosessorientert tankesett presser bedriftene i BA-bransjen til å digitisere sine eksisterende prosesser, men dette fører med seg en utfordring. De eksisterende prosessene er stort sett designet før dagens digitale verktøy ble tilgjengelige, og det er ikke alle prosesser som kan digitiseres direkte. Derfor er det nødvendig med en endring i eksisterende prosesser for å imøtekomme skiftet i tankesett og for å støtte digitaliseringen. Det samme nevnes av Mergel et al. (2019), som foreslår at det neste steget videre med digitalisering bør være å fokusere på potensielle endringer i prosesser kontra kun digitisering av eksisterende prosesser.

Digital innovasjon

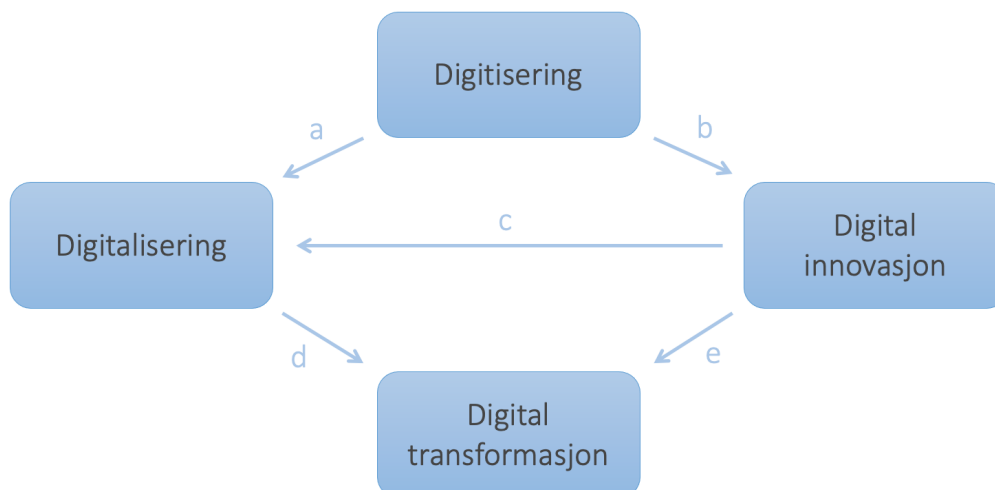
Et begrep som ofte dukker opp i tilknytning til digitalisering er digital innovasjon (Osmundsen et al., 2018). Digital innovasjon handler om å ta i bruk digital teknologi på en ny måte slik at produktet eller prosessen blir forbedret og gir økt verdi for kunden. Panenkov et al. (2021) trekker frem innovasjon som det viktigste digitaliseringsområdet innenfor BA-bransjen. Det å ta i bruk 3D laserskanner til å finne avvik i byggeprosjekter kan betegnes som digital innovasjon fordi laserskanneren blir tatt i bruk på en ny måte og identifiseringsprosessen for avvik blir forbedret.

Digital transformasjon

Dersom digitalisering og digital innovasjon pågår over en lengre tidsperiode kan det føre til betydelige endringer i arbeidsmetodikk (Osmundsen et al., 2018; Panenkov et al., 2021). Endringene som oppstår kan igjen føre til en transformasjon av bedriften, eventuelt av hele bransjen. Panenkov et al. (2021) skriver at digital transformasjon i BA-bransjen er en prosess av kontinuerlig iterasjon av organisatoriske- og økonomiske forhold mellom elementene i systemet som leder til en endring i kvalitetsstanden av alle undersystemer og systemet som helhet. Implementering av AI basert teknologi i BA-bransjen kan bli sett på som digital transformasjon. Ved å bruke AI til å automatisk identifisere og registrere avvik på en byggeplass vil det også føre med seg en betydelig endring i arbeidsmetodikk. Dersom resultatene i tillegg brukes til å oppdatere fremdrift på byggeprosjektene, som videre kan benyttes i fremtidig prosjektplanlegging, vil det føre til en enda større endring i arbeidsmetodikk.

Sammenheng mellom begrepene

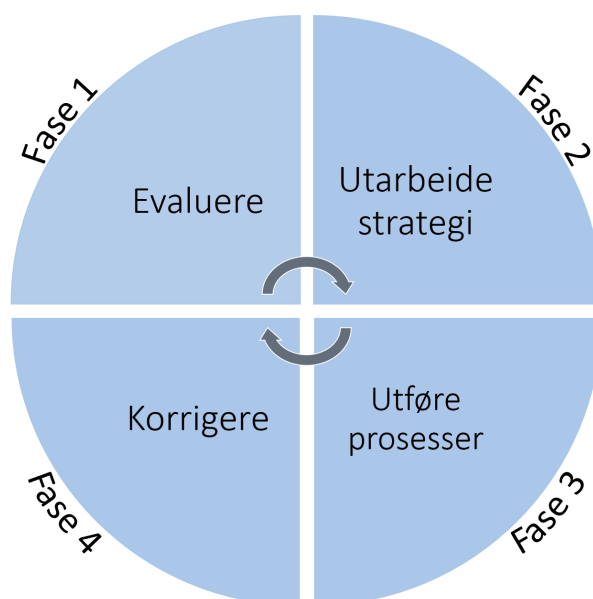
En konseptuell modell av sammenhengen mellom de ulike begrepene er illustrert i figur 3.1. Den konseptuelle modellen viser at digitisering må være til stede for å oppnå både digitalisering og digital innovasjon, illustrert med henholdsvis pil (a) og (b). Digital innovasjon kan føre til digitalisering dersom personer tar i bruk innovasjonen, illustrert med pil (c). Digitalisering og digital innovasjon kan begge bidra til at det skjer vesentlige endringer i arbeidsmetodikk som videre fører til digital transformasjon, illustrert med pil (d) og (e).



Figur 3.1: Konseptuell modell for sammenheng mellom begrepene digitisering, digitalisering, digital innovasjon og digital transformasjon (Osmundsen et al., 2018).

3.1.2 Implementering- og endringsledelse

Implementering består av prosessen med å ta i bruk en idé, et program eller et sett med aktiviteter og strukturer som er nye for menneskene som enten forsøker eller forventer å endre seg (Fullan, 2016). Panenkov et al. (2021) mener at endringer i sosio-økonomiske systemer, slik som bedriftene i BA-bransjen, skjer konstant og representerer en syklisk iterativ prosess for å implementere initierte endringer. En modell for en slik iterativ prosess for implementering av endring er forklart av Meyers et al. (2012). Meyers et al. (2012) deler endringsprosessen inn i fire hovedfaser, illustrert i figur 3.2.



Figur 3.2: Endringsprosessen (basert på Meyers et al., 2012).

Fase 1 handler om å evaluere mulige endringer, bedriften må her vurdere om endringen vil være fordelaktig for dem eller ikke. Vurderingen i fase 1 bør utføres av nøkkelpersoner som følger de mulige endringene gjennom hele implementeringsprosessen. Fase 2 handler om å lage en implementeringsstrategi. En viktig del av fase 2 er å identifisere hva som er nødvendig for å få til en suksessfull implementering. Fase 3 består av selve implementeringsprosessen og her blir strategien og planene fra fase 2 utført. Den siste fasen, fase 4, handler om å forbedre seg. Forbedring kan oppnås ved å evaluere hva som fungerte og hva som ikke fungerte slik at fremtidig implementeringsprosess kan forbedres.

Suksessfaktorer for implementering

For å få til en vellykket implementering er det viktig å identifisere suksessfaktorer, slik som forklart i fase 2 av Meyers et al. (2012) modell av endringsprosessen. Atkinson (2015) trekker frem at faktorer som visjoner, insentiver, ressurser, ferdigheter og handlingsplaner er nødvendige for å få til endringer. Dersom blikket rettes mot implementering av nye digitale løsninger i BA-bransjen fant Silverio-Fernández et al. (2021) at faktorer som lederskap, opplæring av ansatte, organisasjonskultur, våkenhet rundt teknologi, implementeringskostnad og brukbarhet er kritiske suksessfaktorer for implementering. Settes resultatene fra Silverio-Fernández et al. (2021) og Atkinson (2015) opp mot hverandre kan det ses at faktorene korresponderer. Lederskap kan knyttes til alle de nevnte faktorene til Atkinson (2015). Opplæring av ansatte er direkte knyttet opp mot ferdigheter mens organisasjonskultur går inn under insentiver. Våkenhet på ny teknologi kan knyttes til ressurser fordi det er nødvendig å ha de rette verktøyene for å få til en endring. Kostnad er helt klart et viktig punkt som også kan betegnes til å ha en påvirkning på ressurser. Brukbarhet kan til slutt kobles til insentiver ved at de ansatte får et produkt som gir en nytte for dem.

Visjon

En visjon er grunnleggende for å få til en organisatorisk endring (Atkinson, 2015). Med en visjon menes det at det tydelig skal fremkomme hvordan bedriften skal være etter at endringer har skjedd. En visjon for organisatorisk endring bør inneholde svar på følgende to spørsmål: hvor er man på vei? Og hvorfor er man på vei hit? Atkinson (2015) skriver at en visjon kan starte hvor som helst i en organisasjon, men for å få til en suksessiv endring må den bli delt med personer som har mulighet til å få til endringen. Utviklingsprosessen for visjonen krever både dedikasjon og forpliktelse fra personen som er ansvarlig for endringen. Det er altså viktig at en ansvarlig person følger opp endringen. Dette blir også trukket frem i endringsprosessen til Meyers et al. (2012). Konsekvensen av mangel på visjon ved organisatoriske endringer er forvirring (Atkinson, 2015). Helt frem til deltakerne av endringen har en klar forståelse av hvor de er på vei og hvorfor de utfører endringen vil de kunne være forvirret. En slik forvirring kan i verste fall føre til at deltakere finner på sine egne grunner for endringen.

Insentiv

Insentiver er knyttet til det kulturelle miljøet i en organisasjon og handler om fordelene en person oppnår med å endre sine vaner. Ulikt fra en belønning for en prestasjon fungerer insentiver i stedet som et lokkemiddel for å oppnå noe (Atkinson, 2015). Dersom en endring oppleves å øke belastningen på personer over en lengre periode vil det oppstå frustrasjon og motstand. På motsatt side kan det sies at en

endring som fører til enklere eller bedre måter å utføre arbeid på har større sannsynlighet for å bli akseptert i organisasjonen. Riktignok vil det høyst sannsynlig være en læringskurve tilknyttet endringen, men brukervennlighet er et stort insentiv i seg selv. Dersom personer ikke oppfatter eller mottar fordeler av en endring vil de ifølge Atkinson (2015) motstå endringen. Den mest skadelige motstandsformen er «tomme ord» og endringsvegring. Slik endringsvegring kan forekomme på norske byggeplasser. Eksempelvis kan en håndverker få beskjed om å gjøre en arbeidsoppgave på en ny måte av ledelsen. Håndverkeren kan da svare «OK, vi gjør det på din måte», for så å fortsette å gjøre arbeidsoppgaven etter gamle rutiner og vaner etter kort tid.

Et viktig moment for å få til implementering av nye digitale løsninger er å gjøre beslutningstakere bevisste på de potensielle fordelene med teknologien (Silverio-Fernández et al., 2021). Casestudier som viser suksessfull implementering av ny teknologi i byggeprosjekter vil ifølge Silverio-Fernández et al. (2021) fremme ny teknologi blant beslutningstakere.

Ressurser

Ressurser inkluderer alt som er nødvendig for å få til en endring (Atkinson, 2015). Hvis en prosjektgruppe ikke har verktøyene, pengene, tiden, informasjonen eller personene som er nødvendig for å nå de fastsatte målene vil det over tid bygges opp frustrasjon. For å få til den ønskede endringen bør derfor nødvendige ressurskrav fastsettes tidlig i planleggingsprosessen. Dersom en endring settes i gang uten tilstrekkelig tilgang på ressurser vil det være vanskelig å opprettholde momentumet som trengs for å få til endringen.

Trening

Ved enhver organisatorisk endring er det en kulturell endring, og ved en kulturell endring kreves det også endringer i atferd (Atkinson, 2015). En utfordring er at mennesker av natur ofte vil returnere til gamle vaner. For å få til en atferdsendring er det derfor viktig å forsikre seg om at personene har den riktige kompetansen som er nødvendig i det nye arbeidsmiljøet. En kompetanseøkning i en organisasjon kan blant annet oppnås ved å tilby videreutdanning og trening innenfor de nye ferdighetene. Det er viktig at ferdighetstreningen starter så tidlig som mulig i endringsprosessen slik at de nødvendige ferdighetene er til stede før de virkelig behøves. Silverio-Fernández et al. (2021) skriver at en økt bevissthet rundt den eksisterende teknologifronten vil kunne øke organisasjonens akseptnivå for en gitt teknologi. Trening av personell bidrar også til en økt bevissthet for ny teknologi samtidig som det bringer med seg en mer effektiv implementering av ny teknologi.

Handlingsplan

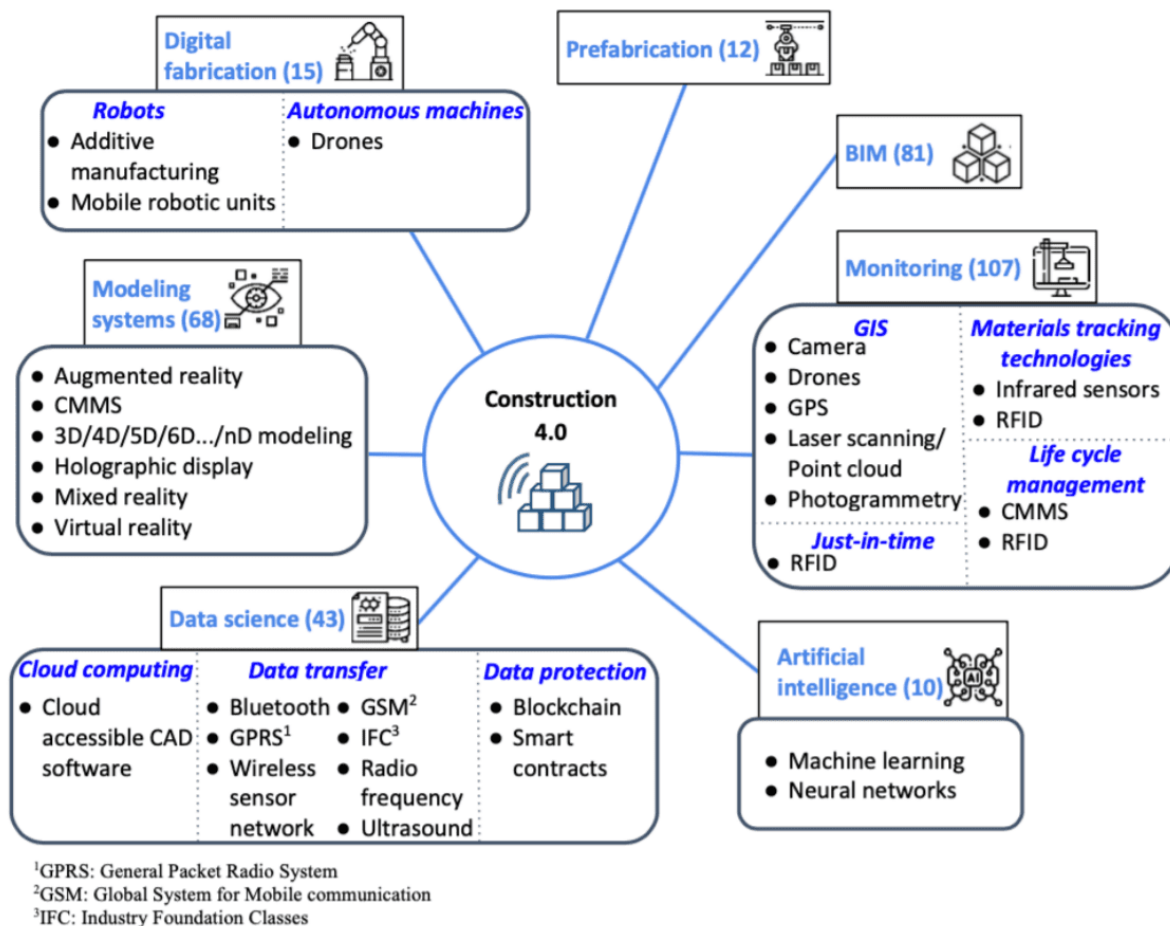
Den siste suksessfaktoren Atkinson (2015) presenterer er å utarbeide en god handlingsplan. Handlingsplanen er en måte å forsikre seg om at visjonen for endringen er tilstrekkelig konkretisert, i tillegg til at visjonen oversettes til konkrete oppnåelige mål i planen. Det er viktig at handlingsplanen inneholder hvordan hvert enkelt mål skal nås, hvem som er ansvarlig, hva som er det ønskede resultatet i tillegg til å inneholde en fremdriftsplan som beskriver når målene skal være nådd. Uten en god handlingsplan vil den organisatoriske endringen kunne bli utsatt for falske starter. Det som menes med falske starter er at prosessen starter, for så å miste retning, starter igjen, for så å miste retning igjen og så videre. Falske starter resulterer i at endringen etter hvert mister momentum og troverdighet som videre kan føre til at endringen mislykkes.

3.1.3 Construction 4.0

Den fjerde teknologiske bølgen Industry 4.0, med digital transformasjon i front, presser industrier verden over til å omfavne ny teknologi for å holde seg konkurransedyktige (Jazzar et al., 2020). Industry 4.0 handler om å øke graden av digitalisering, automatisering og informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT) med hensikt for å skape en digital verdikjede av livsløpet til produktene (Hossan & Nadeem, 2019). Disse prosessene har som mål å bidra til produksjon av kvalitetsprodukter, oppnå en kostnadsreduksjon, samt en generell forbedring i bedriftens produktivitet. Drevet av endringer i kundebehov, skiftet mot massetilpasning og behovet for en grønnere og mer bærekraftig bransje startet forskere å undersøke potensialet for å integrere Industry 4.0 i BA-bransjen (Jazzar et al., 2020). Dette førte til at Construction 4.0 ble innført som et begrep i 2016 (Perrier et al., 2020). Til tross for de store fordelene som Construction 4.0 kan medbringe har ikke BA-bransjen i dag tatt de innovative teknologiene fullt i bruk enda. Perrier et al. (2020) hevder blant annet at Construction 4.0 er langt ifra å nå sitt fulle potensial. Den begrensede fremgangen i innføringen og implementeringen av ny teknologi i BA-bransjen kan skyldes potensielle barrierer ved bruk av 4.0 teknologi (Perrier et al., 2020). Barrierene kan være implementeringskostnad, bransjens aksept for ny teknologi, høyere utstyrs- og prosesskrav, mangel på kunnskap, samt utfordringer tilknyttet prosjektledelsen i byggeprosjekter. Omgjøringen av konseptet fra industri til BA-bransjen er også utfordrende med tanke på at bransjen er preget av prosjektbasert produksjon, et mangfold av aktører og høy kompleksitet (Kalsaas et al., 2017). Ifølge Botton et al. (2021) har det allikevel vært en betydelig økning i forskning innenfor bruk av ny teknologi i BA-bransjen de siste 10 årene. BA-bransjen har dermed sett fremskritt som kan ha bidratt til å endre bransjens rykte for å være lite innovativ (Jazzar et al., 2020).

Perrier et al. (2020) skriver at Construction 4.0 ikke utelukkende dreier seg om å ta i bruk nye og eksisterende teknologier innenfor BA-bransjen. Det handler også om en omfattende transformasjon av prosjektledelsesprosessene i bedrifter ved bruk og utnyttelse av datainnsamling i nåtid til å ta beslutninger. Innføringen av Construction 4.0 vil ikke bare endre byggeprosessen. Det vil også skje en endring i organisasjoner og prosjektstruktur (Jazzar et al., 2020). Kombinasjonen av dette kan potensielt føre BA-bransjen fra en oppsplittet bransje til en mer integrert bransje med større grad av samarbeid. Sherratt et al. (2020) fremhever at det ofte kun er et fokus på de potensielle fordelene, slik som økt produktivitet eller lønnsomhet, ved implementering av ny teknologi. Dersom det utelukkende fokuseres på potensielle fordeler hevder Sherratt et al. (2020) at det er en fare for å overse det helhetlige bildet fordi etiske og sosiale konsekvenser kan bli glemt.

Construction 4.0 er et omfattende begrep som dekker en stor mengde teknologi. Figur 3.3 viser hva som inngår i Construction 4.0 ifølge Perrier et al. (2020). Tallene i parentes står for hvor mange ganger teknologiene var nevnt i den gjennomgatte forskningslitteraturen.



Figur 3.3: Oversikt over hva som inngår i Construction 4.0 (Perrier et al., 2020).

Bruksområdene til teknologiene er mange og inkluderer blant annet automasjon, kommunikasjon, distribusjon, lokalisering, optimalisering, rekonstruksjon, simulasjon, standardisering og visualisering (Perrier et al., 2020). I produksjonsfasen av byggeprosjekter vil de ovennevnte bruksområdene være til hjelp ved arbeid innen områder som fremdrift, kvalitet, HMS, risiko, anskaffelse, HR, kost og kommunikasjon.

3.2 BIM

3.2.1 Generelt om BIM

En sentral del av digitaliseringen i BA-bransjen er bygningsinformasjonsmodellering (BIM) (Hjelseth, 2019; Perrier et al., 2020). Forkortelsen BIM kan også brukes som en beskrivelse av selve 3D modellen «building information management». Hva som menes med BIM er avhengig av situasjonen det brukes i. I denne rapporten er det valgt å skille begrepene med å skrive BIM modell når det snakkes om selve 3D modellen.

BIM er i dag et velkjent begrep innenfor BA-bransjen, men Hjelseth (2017) poengterer at selv om begrepet er mye brukt så betyr ikke det at det dermed er godt forstått. Definisjonene av BIM er mange og kan

finnes i en rekke rapporter, retningslinjer og standarder (Hjelseth, 2019). Det som imidlertid er felles for de fleste definisjonene er at de inkluderer prosessen, altså måten det arbeides på. BIM tok over for dataassistert konstruksjon (DAK) som handler om å visualisere prosjekter tredimensjonalt. Ved hjelp av virtuell modellering i tillegg til å tilføre informasjon om bygg og bygningskomponenter bringer BIM med seg informasjon fra alle aktører i et prosjekts livsløp (Perrier et al., 2020). Hjelseth (2019) skriver at BIM, dersom det settes i system, kan bli en av de viktigste faktorene for en lønnsom og bærekraftig bransje. For å få til effektiv prosjektering, byggeprosess og drift av bygninger er det viktig med god informasjonsflyt. En effektiv informasjonsflyt kan ifølge Hjelseth (2019) oppnås med riktig bruk av BIM i et prosjekt.

For å utnytte hele potensialet til BIM er det ikke tilstrekkelig å kun forholde seg til såkalt 3D BIM (Charef et al., 2018). Det er også mulig å inkludere informasjon ved et byggeprosjekt som tid, kostnad, forvaltning, drift og vedlikehold (FDV), bærekraft og sikkerhet i BIM modellen. Ved å legge ekstra informasjon inn i BIM modellen utvides den til å inneholde flere dimensjoner slik som vist i figur 3.4. 4D inneholder fremdriftsplanlegging og 5D inneholder kostnadsinformasjon. 6D og 7D har ulike definisjoner innenfor forskningen, men de omhandler som regel fasilitetsstyring, bærekraft og HMS uavhengig av nummer.



Figur 3.4: BIM dimensjoner (basert på informasjon i Charef et al., 2018)

I BA-bransjen er det en felles enighet om at det nåværende modenhetsnivået tilknyttet implementering av BIM er langt under det som var forutsett for 10 år siden (Hjelseth, 2017). Det finnes utfordringer i form av standardisering, interoperabilitet, gjensidig dataavhengighet og datasikkerhet (Karmakar & Delhi, 2021). Gressgård (2021) peker på at bransjestandarder for informasjonsdeling er utilstrekkelige eller ikke tilstrekkelig definert. For å øke modenhetsnivået av BIM blir det stadig introdusert nye løsninger. I tillegg jobbes det også for økt standardisering. Introduksjonen av åpenBIM førte til helt andre muligheter for samarbeid enn tidligere, og bransjeorganisasjoner som buildingSMART arbeider kontinuerlig med å standardisere og forbedre BIM i BA-bransjen (Hjelseth, 2017).

3.2.2 ÅpenBIM

ÅpenBIM er BIM-prosesser der alle prosjektdeltakere har tilgang til modellen og informasjonen den inneholder uavhengig av hvilken programvare som benyttes (Hjelseth, 2019). Samarbeid uavhengig av programvare utføres ved at modellen lagres i det åpne dataformatet Industry Foundation Classes (IFC). Alle leverandører av dataverktøy som støtter samarbeidet har mulighet til å programmere inn funksjoner for eksport eller import av filformatet. Dermed kan IFC nærmest kategoriseres som et slags verdensspråk for dataverktøy i byggebransjen.

Motsetningen til åpenBIM er lukketBIM (proprietære filformat) (Hjelseth, 2019). Kort forklart betyr dette at det ikke er mulig å jobbe videre i andre programvarer. Utveksling av informasjon er helt avhengig av

det filformatet som programvaren benytter. Eksempelvis så lagres en tegning fra programvaren Revit med filformat rvt. Dersom denne tegningen sendes over til en annen part som skal gjøre endringer krever det at personen også arbeider i samme programvare.

Ved hjelp av datadelingsformater som IFC bidrar informasjonsdeling til et bedre samarbeid gjennom de ulike prosjektfasene (Karmakar & Delhi, 2021). Et filformat som utnytter IFC modeller som tidligere er delt mellom prosjektdeltakere er BIM Collaborationn Format (BCF) (buildingSMART, u.å.). BCF muliggjør forskjellige BIM programvarer å kommunisere modellbaserte problemer med hverandre. På lik linje med IFC er BCF en del av den internasjonale åpenBIM standarden. Dette betyr at BCF kan brukes av alle. BCF kan i byggefasen brukes til kvalitetskontroll av bygningskomponenter mot BIM modell, sporing av materialer og koordinering av erstatninger.

3.2.3 Faktorer for å lykkes med BIM

Gressgård (2021) har om temaet implementering av BIM i bygge- og anleggsbransjen gjennomgått 48 forskningsartikler som er utgitt i 25 ulike journaler. Med bakgrunn i forskningslitteraturen har han konkludert med seks faktorer som har påvirkning for implementeringen av BIM. En oppsummering av funnene i rapporten blir videre presentert.

Teknologisk mangfold

Utvalget av forskjellige BIM-verktøy for ulike bruksområder og aktører er stort (Gressgård, 2021). Mangfoldet bringer med seg utfordringer for hvordan teknologien skal fungere sammen med bedriftens allerede eksisterende systemer, altså teknologiens interoperabilitet. Studien viser at utfordringene med dataflyt ikke utelukkende har en teknologisk årsak. Implementering og bruk av BIM er også begrenset på grunn av uklare roller og ansvarsområder for dataflyt og oppdatering av data. Standardisering, datatilgang og prosesser for koordinering mellom aktører sees på som nøkkelfaktorer for å løse utfordringene knyttet til teknologisk mangfold.

Kunnskap og ferdigheter

Forskningen fremhever trening, utdanning og BIM ekspertise som viktige for implementering av BIM (Gressgård, 2021). Utfordringer med implementering kan ofte skyldes de ansattes manglende kompetanse og ferdigheter i BIM samt mangelfull opplæring og trening. For å få til en bedre implementering av BIM anbefales kontinuerlig trening og læring, både på prosjektnivå og virksomhetsnivå. Forskningen viser at tilgangen på læringsprogrammer er en avgjørende faktor for effektiv implementering. Gressgård (2021) nevner også at etablering av praksisfellesskap med fokus på gjensidig læring og deling av erfaringer er tiltak som støtter i implementeringsprosessen.

Byggebransjens karakteristikk

Byggebransjen blir av mange karakteriseres som konservativ, preget av frykt for det ukjente og motstand mot endring av komfortable rutiner, kultur og struktur (Gressgård, 2021). Forskningen viser at de ansatte og lederes holdninger, bevissthet og preferanser for arbeidsprosedyrer kan medføre utfordringer for implementering av BIM. Selv etter opplæring og trening kan motstand mot endring være en fremtredende barriere. Dette betyr at økte ferdigheter og kunnskap vedrørende BIM ikke nødvendigvis fører til en endring av holdninger eller fjerner endringsmotstand.

Manglende intern motivasjon på individnivå kan også være en barriere for implementering av BIM. Opplevde ulemper, stor kompleksitet, tidspress og lite tillit til teknologi kan være påvirkende for manglende motivasjon. For å få til vellykket implementering av BIM mener flere forskere at det er viktig å bygge holdninger og bevissthet for nytteverdien av teknologien. Tidlig brukerinvolvering, åpen kommunikasjon og informasjonsdeling trekkes frem som viktige faktorer for å lykkes med bevisstgjøring og holdningsendringer.

Ledelsesinvolvering- og forpliktelse

Støtte fra toppledelsen, tydelig lederskap og byggherrekrav for bruk av BIM trekkes frem som viktige forhold (Gressgård, 2021). Toppleidelsesstøtte er også viktig for å redusere mulige barrierer i form av konkurrerende initiativer. «Top-down» tilnærminger er viktige både for enkelte prosjekter og for bedrifter. Videre bør «top-down» tilnærminger følges opp med «bottom-up» tiltak. Tiltak kan eksempelvis være opptrening av personell til å utføre spesifikke arbeidsprosedyrer.

Organisatoriske endringer

Den femte faktoren dreier seg om endring av prosesser, roller, ansvarsområder, arbeidsflyt og beslutningsmyndighet ved implementering av BIM (Gressgård, 2021). De organisatoriske endringene vil både være knyttet til den enkelte bedrift, men også på prosjektnivå hvor det er mange aktører som arbeider sammen. Implementeringsutfordringer kan oppstå som en følge av at aktører har ulike forventninger til bruken av BIM. Forventninger kan være at BIM skal tilpasses de nåværende og foretrukne arbeidsprosessene. Det kan også være at BIM fullstendig skal endre arbeidsprosesser. Flere studier nevner at entreprenører kun opplever BIM som fordelaktig hvis bruken er tilpasset deres eksisterende arbeidspraksis. Det er derfor viktig at ledere skaper gode betingelser for implementering ved å etablere motiv som samsvarer med brukeres forventninger. Involvering av nøkkelaktører på et tidlig tidspunkt samt inkludering av underleverandører i implementeringsprosessen blir sett på som viktig for å lykkes.

Juridisk usikkerhet

Det finnes utfordringer tilknyttet eierskap av modeller samt hvordan man skal få frem eiers perspektiv i prosjektering og utførelse (Gressgård, 2021). Disse utfordringene kan knyttes til endringer og innføring av prosedyrer og aspekter relatert til kontrakter, standarder og lovgivning. Flere studier trekker frem at det ikke finnes tilstrekkelige standardkontrakter som omhandler ansvars- og risikofordeling i tilknytning til BIM og eierskap til modeller. Dette kan ifølge Gressgård (2021) tyde på at det er et behov for nye

rammeverk og avklaringer av kontraktsmessige forhold mellom byggherre, entreprenør og prosjekterende. Utarbeidelse av innkjøpsdokumenter og kontrakter med tydelige formulerte krav i forhold til BIM-arbeidspraksis har imidlertid vist seg vanskelig.

Ved tradisjonelle innkjøpsmetoder er det noen kontraktsmessige begrensninger som skaper utfordringer for etablering av tett samarbeid og etablering av insentivsystemer. Samarbeidsløsninger og insentivsystemer kan være fordelaktig for å stimulere ulike aktører til å ta et helhetsperspektiv i prosjektgjennomføringen med tanke på både valg av løsninger og arbeidsprosedyrer. Gressgård (2021) hevder at tradisjonelle kontrakter beskytter individualisme til fordel for en «best for prosjektet» tilnærming. Av den grunn så anbefaler han å ta i bruk samarbeidsbaserte kontrakter mellom flere aktører for å lykkes med BIM. Samarbeidsbaserte kontrakter tilknyttet BIM vil kunne øke sannsynligheten for å levere en modell som bedre passer brukerens behov.

3.3 Kunstig intelligens i BA-bransjen

De siste årene har mange prosjektledere både i prosjekterende og utførende virksomheter etterspurt mer nyttig informasjon fra mengdene av strukturerte og ustrukturerte data som følger med den økende kompleksiteten av prosjekter i BA-bransjen (Karan et al., 2020). Disse enorme mengdene av informasjon kan vanskelig håndteres i sin helhet av menneskelige ressurser på en hensiktsmessig måte. Samtidig har tradisjonelle dataprogrammer begrenset seg til å håndtere prosessert informasjon. Ifølge Hooda et al. (2021) er kunstig intelligens (AI) en løsning på dette problemet. AI benytter seg av menneskelige evner for å utføre oppgaver som verken mennesker eller maskiner kan utføre individuelt.

AI er et omfattende tema med et stort spekter av ulike metoder og undergrener. Mange av undergrenene har igjen flytende overganger mellom hverandre. Vitenskapen er i hurtig utvikling og nye verktøy utvikles stadig. Videre vil det gis et innblikk i enkelte sentrale begreper som kan være relevant for å forstå teknologi relatert til AI løsninger som kan nyttes i bygge- og anleggsbransjen i dag og i nær fremtid.

3.3.1 Kunstig intelligens (AI)

I dag brukes begrepet AI ulikt (Helsingfors Universitet et al., 2018). For noen handler AI om vitenskapen om kunstige livsformer som kan overgå menneskelig intelligens. For andre er definisjonen utvidet til å omhandle vitenskap rundt et vidt spekter av metoder for databehandling. Det er derfor flere som beskriver AI ut fra hvilke egenskaper produkter basert på AI vitenskap innehar. Darko et al. (2020) beskriver AI som vitenskapen og ingeniørkunsten for å skape intelligente maskiner som viser resonnement, læring, kunnskap, kommunikasjon, persepsjon, planlegging, og evne til å flytte og betjene objekter. Helsingfors Universitet et al. (2018) beskriver i sitt internettkurs «Elements of AI» hvordan AI innehar egenskapene autonomi og adaptivitet. Der autonomi omhandler evnen til å utføre oppgaver i komplekse omgivelser uten kontinuerlig hjelp fra mennesker, mens adaptivitet er evnen til å forbedre en prestasjon ved å lære av erfaringer.

Oppmerksomheten rundt AI har vokst enormt de siste 20 årene, og man kan se en stor økning i forskning som omhandler temaet globalt (Darko et al., 2020). Også i Norge har interessen rundt AI økt betraktelig de siste årene. I 2020 utformet den norske regjeringen en strategi for kunstig intelligens (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2020). AI blir i strategien pekt på som en sentral nøkkel for å opprettholde konkurransekraft og velferdsnivå ved å jobbe smartere og mer effektivt. Strategien peker på at Norge har gode forutsetninger for å lykkes med kunstig intelligens. Dette kommer av at Norge har en digitalt kompetent befolkning og næringsliv, en godt utbygd infrastruktur, samt at befolkningen har en høy grad av tillit til næringslivet. Dokumentet viser også til at forskningsområdet AI, robotikk og informasjonshåndtering er det området innenfor IKT hvor det er en størst økning i tildelte midler til forskning i perioden 2015 til 2019.

Maskinlæring

Det finnes flere ulike undergrener av AI (Helsingfors Universitet et al., 2018). Maskinlæring er en av de sentrale. Systemer for maskinlæring kan beskrives som systemer som blir bedre til å løse en bestemt oppgave når mengden av informasjon og erfaring øker. Noen av forutsetningene for utviklingen av maskinlæring er utviklingen av kraftfulle datamaskiner, den økte tilgangen til digitale data, smartere algoritmer, og den store utviklingen som er skjedd innen programmering (Mohammadpour et al., 2019).

Mønstergjenkjenning er en av mange utfordringer som kan løses med algoritmer som kan analysere sammenhenger i data (Schia et al., 2019). Mønstergjenkjenning stammer fra vitenskap rundt datasyn (hvordan datamaskiner kan benyttes til å hente ut informasjon fra digitale bilder og videoer) og går ut på å gjenkjenne mønstre og geometriske former i store mengder data (Karan et al., 2020). Dette kan sees på som kjernen i maskinlæring (Tidemann, 2021).

Robotikk

Robotikk innbefatter konstruering og programmering av roboter (Helsingfors Universitet et al., 2018). Robotikk kan kreve kombinasjoner av flere delområder av kunstig intelligens. Et eksempel kan være mønstergjenkjenning og datasyn for å orientere og gjenkjenne omgivelser. Maskinlæring er også sentralt for å løse mange av utfordringene innen robotikk (Helsingfors Universitet et al., 2018).

Darko et al. (2020) gjennomførte i 2019 en studie av hvilke områder av AI i BAE-bransjen det ble publisert flest forskningsartikler om. Et av funnene i studien er at robotikk var et område det var viet lite oppmerksomhet til i eksisterende litteratur. Ifølge Darko et al. (2020) er dette en følge av at BAE-bransjen fortsatt ligger bak andre industrier når det gjelder implementering av AI-løsninger. Robotikk anses allikevel som et sentralt område for innovasjon i BAE-bransjen sett i sammenheng med utviklingen i andre bransjer som produksjonsindustrien. Mohammadpour et al. (2019) peker på at robotikk har et høyt potensial for å øke produktivitet, effektivitet, sikkerhet og kostnadseffektivitet på byggeprosjekter.

3.3.2 Bruksområder for AI i BA-bransjen

AI har ifølge Mohammadpour et al. (2019) et vidt spekter av potensielle bruksområder i BA-bransjen. AI har allerede startet å endre den konvensjonelle BA-bransjen sammenlignet med hvordan bygninger tradisjonelt sett blir prosjektert, konstruert og driftet (Mohammadpour et al., 2019). Den konstante økningen i forskning og oppmerksomhet rundt AI tyder også på at dette kun er starten på utviklingen av AI-løsninger for BA-bransjen (Darko et al., 2020).

Fremdriftsplanlegging

Det finnes i dag AI baserte verktøy som analyserer, optimaliserer og leverer fremdriftsplaner. Disse systemene benytter historiske data fra tidligere fremdriftsplaner og prosjektgjennomføringer til å lære seg å optimalisere planene ved hjelp av maskinlæring. Analysene kan evaluere millioner av ulike løsninger av fremdriftsplaner, noe som det for mennesker ville tatt eksponentielt lengre tid å utføre (Schia et al., 2019).

Logistikk

Logistikk er et bruksområde som presenteres som et sentralt område for videre utvikling av AI løsninger (Schia et al., 2019). Ved å benytte seg av sensorer på byggeplassen sees det potensial i å benytte AI verktøy for å optimalisere lagring og logistikk på byggeplassen. Dette kan for eksempel visualiseres på digitale kart som kontinuerlig viser hvor det er optimalt å lagre materiale og maskiner.

Kvalitetskontroll

Kvalitetskontroll er et område hvor flere AI verktøy benyttes i dag. Et av de vanligste bruksområdene for AI i industrien er identifikasjon av defekte produkter gjennom maskinsyn (Reaktor Education, 2021). Slike metoder benyttes også i BA-bransjen. Løsninger basert på dyp læring finnes i dag for å detektere, identifisere og undersøke betongsprekker og -avskalling for å fastsette kvaliteten på betongkonstruksjoner (Akinosho et al., 2020). Teknologien baserer seg på ulike type sensorer som ulike type kamera, 3D-skannere, og vibrasjonsfølere for å hente inn data som deretter systematiseres for å fastsette kvalitet.

Sikkerhetsstyring og HMS

Tradisjonelle metoder for sikkerhetsstyring innebærer som regel menneskelige sensorer for innhenting av informasjon. Dette kan være svært omfattende, tidkrevende og baserer seg ofte på subjektive vurderinger (Akinosho et al., 2020). AI løsninger som innbefatter datasyn og bærbare sensorer kan være en sentral løsning innen dette området. Løsninger som finnes i dag omfatter blant annet modellbasert deteksjon av områdesikring og automatisk deteksjon av manglende personsikring (Akinosho et al., 2020).

Roboter

En annen anvendelse av kunstig intelligens er bruk av roboter. Dette kan blant annet inkludere selvkjørende maskiner, roboter for å utføre farlig arbeid og roboter for skanning av byggeplassen (Schia et al., 2019). Roboter kan blant annet benyttes på arbeidssteder og arbeidstidspunkt som ikke er ideelle for arbeidere.

Prosjektstyring

For å best kunne ta avgjørelser innen prosjektstyring er man avhengig av en tilstrekkelig mengde informasjon av god kvalitet. Ved hjelp av å sammenligne erfaringsdata og annen tilgjengelig data fra tidligere prosjekter mot det pågående prosjektet kan AI løsninger bidra til å hente ut sentral informasjon ut fra store mengder av informasjon (Hooda et al., 2021). Dette kan både gi et bedre beslutningsgrunnlag samtidig som det kan effektivisere prosjektet. Sentrale områder hvor håndtering av såkalt «big data» kan utnyttes i byggeprosessen er blant annet innen prosjektovervåkning og -kontroll, innkjøp og prosjektstyring (Atuahene et al., 2020).

3.3.3 Erfaringer med AI i BA-bransjen

BA-bransjen ligger bak andre bransjer i utnyttelsen av AI og kan dermed med fordel se til andre bransjer som for eksempel logistikk-, transport-, helse- og produksjonsindustrien (Schia et al., 2019). Samtidig er BA-bransjen på mange måter unik. Bygge og anleggsprosjekter involverer som regel flere fagdisipliner, prosjektene er sjelden identiske og det er også sjeldent at den samme arbeidstokken jobber sammen over flere prosjekter. I tillegg er byggeplassen som regel i kontinuerlig utvikling. Det er dermed sentralt å se hvilke erfaringer bransjen har av de tidlige AI baserte løsningene som er utviklet.

Gevinster

Flere av AI-løsningene effektiviserer prosesser som er svært tidskrevende å utføre for mennesker (Reaktor Education, 2021). Ifølge Bolton et al. (2018) er det å levere tjenester raskere en av hovedgrunnene for at AI blir tatt i bruk i internasjonale organisasjoner.

AI løsninger blir ikke slitne og kan alltid fokusere helt og holdent på oppgaven den skal utføre (Reaktor Education, 2021). Dette innebærer at maskiner kan utføre operasjoner helt likt hver gang de utføres som igjen kan bidra til å øke kvaliteten på arbeidet. Bolton et al. (2018) fant at en av de viktigste fordelene internasjonale organisasjoner opplevde ved bruk av AI-teknologi var en reduksjon av menneskelige feil. Den viktigste årsaken for bruk var økt bruker- og kundeopplevelse. Begge disse funnene indikerer at AI-løsninger kan bidra til økt verdi på sluttproduktet.

AI løsninger kan også være ressurs sparende. Teknologi basert på AI løsninger kan automatisere arbeid som ellers måtte vært gjort manuelt av mennesker. Dette kan bidra til at mennesker i større grad heller kan fokusere på arbeid som vil føre til økt verdi (Bolton et al., 2018). Ved å spare tid fra menneskelige ressurser vil det også bidra til lavere lønnskostnader. Bedre kvalitet på arbeid kan igjen bidra til mindre feil og skader. Dette senker graden av arbeid som må utbedres eller omgjøres som da bidrar til å spare både tid, materiell, miljø og penger. Ved bruk av AI for å sammenligne valg kan man også se for seg at det ville kunne være mulig å velge bedre løsninger som generelt vil kunne gi en større verdi for ressursene som benyttes (Atuahene et al., 2020). Potensielt kan velfungerende AI-verktøy dermed bidra til økt produktivitet.

Utfordringer

En av de vanligste grunnene for at AI idéer ikke blir implementert er mangel eller dårlig kvalitet på informasjonsdata (Reaktor Education, 2021). I BA-bransjen blir data ikke nødvendigvis til av seg selv som en delprosess, slik som i enkelte andre bransjer. Dette krever at datainnhenting spesifikt må planlegges og implementeres. Ofte krever informasjonsinnhenting av data bruk av nye verktøy som kamera eller andre sensorer (Reaktor Education, 2021). Det er også sentralt at datasamlingen følges opp underveis i prosjektets ulike faser. Dette kan være utfordrende ettersom byggeplassen er i kontinuerlig endring. For at sensorene skal kunne fange opp etterspurt informasjon må derfor sensorer ofte flyttes eller tilpasses (Reaktor Education, 2021). Ifølge Reaktor Education (2021) sitt nettkurs «AI for built Environment» er mangel på kunnskap rundt datatilgjengelighet den vanligste årsaken for at AI verktøy blir forsinket eller forkastet under utvikling.

Maskinlæring og dyp læring er metoder innen AI som krever store mengder data for å kunne gi optimale resultat. En utfordring som har oppstått ved implementering av slike løsninger er at det ikke er en stor nok mengde tilgjengelig data (Akinosho et al., 2020). Dette har i noen tilfeller ført til at det har vært nødvendig med en større mengde manuell input av data for at systemene skal fungere (Schia et al., 2019). Etter hvert som flere prosjekter blir gjennomført med systemene vil større deler av prosessen være selvtenende og automatisert. Behovet for manuell input av informasjon i startfasen kan føre til at det blir vanskelig å se nytten av verktøyene ettersom dette vil kunne kreve lange testfaser med varighet over flere år, avhengig av bedriftens størrelse og datatilgang.

Samarbeid mellom AI og arbeiderne som opererer AI løsninger er en utfordring Schia et al. (2019) har undersøkt i sine studier. I studiene kommer det frem at transparens i hvordan AI løsningene «tenker» er viktig for at arbeiderne føler de kan stole på resultatene. Dersom mennesket er uenig med AI-verktøyets løsning er det ofte vanskelig å hente ut en forklaring fra verktøyene. Det er også viktigere med opplæring innen disse metodene ettersom de er mer avanserte og opererer annerledes enn tradisjonelle former for digitalisering. I dag er imidlertid tilgangen på ekspertise innen AI i BA-bransjen begrenset, noe som kan vanskeliggjøre en storskala opplæring.

Akinosho et al. (2020) skriver i sitt forskningspaper at implementeringen av teknologi under utvikling alltid kommer med en kostnad. Datamaskiner som nyttes for dyplæringsmodeller krever kostbare maskiner med kraftige prosessorer. Den totale kostnaden ved implementering av AI-løsninger er ofte vanskelig å kvantifisere og avhenger av krav til ekspertise, maskinvare og behov for opplæring. Ettersom mye av teknologien er på et tidlig stadiet stilles det enda spørsmål i tilknytning til kvaliteten på løsningene. Dette syntes å medføre en usikkerhet for mange aktører i bransjen på nåværende tidspunkt.

3.4 3D skanning

Tradisjonelle målemetoder som bruk av totalstasjon, laseravstandsmålere og målebånd er arbeidskrevende, dyrt og utsatt for feil (Maalek et al., 2019). I tillegg kan bare en snever del av konstruksjonselementer overvåkes av praktiske årsaker ettersom tradisjonelle instrumenter kun gir punktmålinger. Dette har ført til at bruk av måleteknikker som 3D laserskanning og digital fotogrammetri har økt over tid (Rocha & Mateus, 2021). Samtidig har også valget av BIM som arbeidsmetodikk for disse teknikkene økt. Figur 3.5 viser hvordan 3D skannere kan se ut. Leica BLK 360 og FARO Focus S er basert på laserteknologi, mens Matterport Pro2 er basert på fotogrammetri.

Leica BLK 360



FARO Focus S



Matterport Pro2



Figur 3.5: Eksempler på 3D skanningutstyr (G2 Metrics, 2022; Matterport, 2022).

3.4.1 Laserskanning

3D laserskanning er en prosess hvor en bruker laserskannere for å generere datapunktkoordinater som benyttes for å lage «som-bygget» 3D-modeller (Kalyan et al., 2016). Disse laserskannerne gjør det mulig å samle store mengder informasjon på lite tid. 3D laserskanning følger typisk tre hovedsteg for å produsere en 3D modell (Kalyan et al., 2016). Første steg er datasamling hvor laserskannere benyttes for å generere punktskymodeller fra ulike lokasjoner. Andre steg er databehandling hvor de ulike punktskyene settes sammen og støyreduksjonsprosesser utføres. Tredje steg er prosessen hvor de bearbejdede punktskyene benyttes for å generere geometriske 3D modeller.

3D laserskannere, også kjent som «light detection and ranging» (LiDAR), måler distansen til et punkt ved å avgi laserstråler som reflekteres og deretter fanges opp (Wang et al., 2019). Ettersom laserskanneren avgir laserstråler og måler i ulike retninger ved hjelp av et roterende speil vil det etter hvert dannes ett komplett punktskysystem. Ifølge Binjin et al. (2018) er 3D laser skanning brukbart for alle former for store, komplekse og uregelmessige mål ettersom de vil kunne gjengis både presist og nøyaktig.

3.4.2 Fotogrammetri

Fotogrammetri er en bildebasert teknologi hvor 2D bilder trianguleres for å produsere punktskyer i 3D (Kalyan et al., 2016). Punktskyene benyttes deretter til å lage 3D modeller ved hjelp av delvis eller helautomatiserte metoder (Kalyan et al., 2016). Utstyret som brukes for fotogrammetri er i forhold til laserskanningsutstyr både lettere og billigere. Nøyaktighetsgraden er imidlertid lavere.

Det er også mulig å kombinere laserskanning og fotogrammetri. Fotogrammetriene kan da gjøre det mulig å se materialenes farge og strukturer (Perrier et al., 2020). Det er også å mulig å bruke fotogrammetri med andre sensorer som termiske kamera. Termiske kamera kan blant annet være med på å avdekke kuldebroer. På denne måten kan datamaskinen lage modeller basert på annen informasjon som kan hjelpe med å stadfeste hvilke objekt, material og egenskaper den skannede konstruksjonen har.

3.4.3 Punktskyer

De ulike sensorene som benyttes for 3D skanning henter inn store mengder punkter som sammen danner en punktsky for hver måling (Wang et al., 2019). For å dekke hele konstruksjoner og unngå punktskygger utføres det flere målinger helt til hele konstruksjonsoverflaten er dekket (Biswas, 2020). Dette fører til at man oppnår flere overlappende punktskyer som lappes sammen til en dekkende modell. Hver sky kan inneholde millioner av individuelle datapunkter. Datapunktene inneholder som et minimum koordinater for dets posisjon i rommet. For at man presist skal kunne plassere de ulike punktskyene i forhold til hverandre benyttes faste referansepunkter med kjent posisjon. Denne prosessen kalles georeferering.

Det er viktig at punktskyene har tilstrekkelig nøyaktighet, oppløsning og dekningsgrad (Wang et al., 2019). Dette avgjøres i stor grad av skannerapparatet og skanningslokasjonen. Avstanden til objektet som skal skannes og vinkelen laserstrålen treffer objektet er her sentralt. Andre faktorer som overflaterrefleksjon, overflateglatthet, luftfuktighet, temperatur og lysforhold kan også påvirke resultatet. For laserskannere er nøyaktigheten vanligvis på mellom en og ti millimeter (Wang et al., 2019).

3.4.4 Bruksområder

3D laserskanning har i utstrakt grad blitt tatt i bruk i BA-bransjen for å løse problemer relatert til unøyaktig, utdatert eller manglende bygningsinformasjon (Wang et al., 2019). Dette er ofte tilfelle for eksisterende eldre bygninger som trenger rehabilitering eller som skal ombygges (Karmakar & Delhi, 2021). Måleteknikker med bruk av 3D laserskannere og fotogrammetri er mye raskere enn tradisjonelle manuelle måleteknikker og har dermed vært foretrukket til dette formålet (Rocha & Mateus, 2021).

Fremdriftskontroll er et av områdene hvor 3D skanning er funnet nyttig i nyere tid. Her blir imidlertid punktsky basert laserskanning ofte sett på som for dyrt og tidskrevende (Rebolj et al., 2017). Innenfor dette feltet foregår det mye utvikling av ny teknologi i dag. Bruken av laserskannere for 4D som-bygget BIM dokumentasjon har økt markant som følge av nylige fremskritt i hastighet og kvalitet på datafangst (Maalek et al., 2019). Samtidig ser man også en reduksjon i instrumentkostnader.

På grunn av den høye detaljgraden som oppnås med laserskanning er metoden stadig mer brukt som innsamlingsmetode for å sammenligne den ferdige konstruksjonen opp mot den prosjekterte BIM modellen (Rebolj et al., 2017). Dette gjør at man kan oppdage feil tidligere slik at man unngår komplikasjoner. Man får også en detaljert dokumentasjon av bygget. Skanningen kan blant annet benyttes til å vite nøyaktig hvor elementer ligger, noe som kan føre til at arbeid gjøres enklere gjennom hele byggets levetid. Metoden er imidlertid enda ikke implementert i stor grad på grunn av momenter som høye kostnader, kravet til klar sikt og ekstraarbeidet det krever i form av måling og databehandling (Rebolj et al., 2017). Også innenfor denne bruken av laserskanning utvikles det i dag stadig nye løsninger i et høyt tempo. Ifølge Binjin et al. (2018) har BIM og 3D laserskanning potensiale til å bli den mest vitale metoden innenfor feltet kvalitet for ingeniørarbeid.

3.4.5 Automatisering av 3D skanning

I forbindelse med det digitale skiftet omtalt som Construction 4.0, den stadige utviklingen innen AI og sensortechnologi er automatisering et typisk utviklingsområde. Automatisering innen 3D skanning av bygg er intet unntak. Det utvikles i dag produkter for å automatisere flere av de ulike prosessene som er nødvendig for å benytte 3D skanning for KS. Dette inkluderer automatisering av selve skanningen ved bruk av roboter og droner (Hamledari et al., 2018; Liu et al., 2021), illustrert i figur 3.6, bruk av AI løsninger for å finne optimale skanningsposisjoner og skanningsruter (Biswas, 2020; Frías et al., 2019), samt automasjon av skann til BIM prosessen hvor modellen blir utviklet og objekter blir gjenkjent (Maalek et al., 2019).



Figur 3.6: Eksempler på roboter til skanning på byggeplass, fra henholdsvis Boston Dynamics og Scaled Robotics (Cao, 2021; Frøjd, 2018).

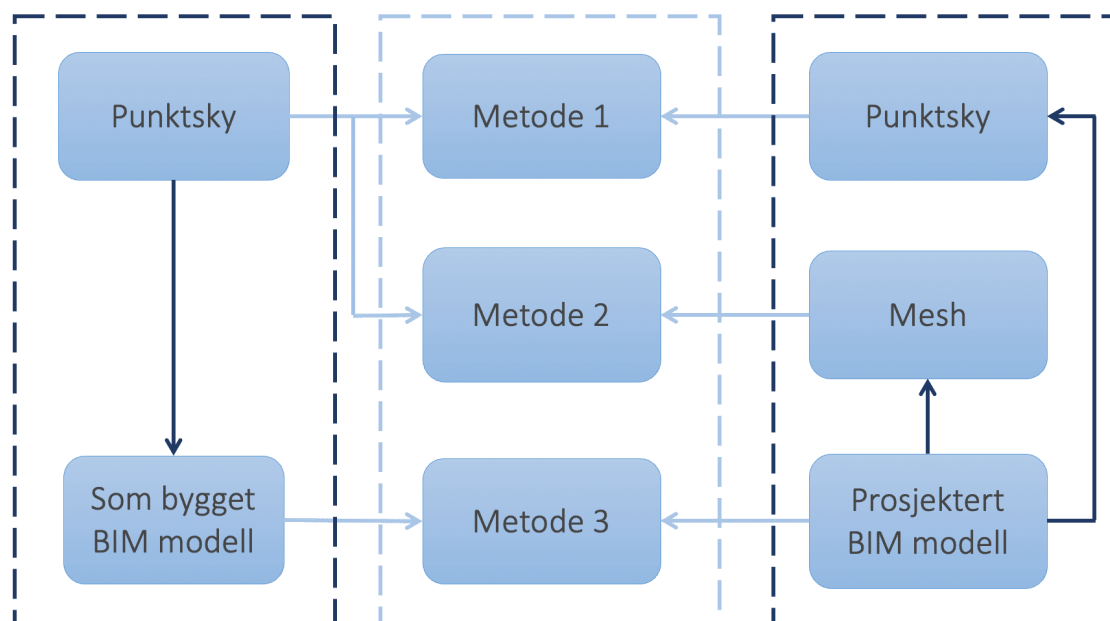
IoT og andre teknologier i Construction 4.0 demonstrerer mulighetene for å innhente data fra bygge- og anleggsplassen. Fastsatte sensorer kan imidlertid være kostbare og tar ikke høyde for endringer på byggeplassen (Boston Dynamics, 2020). Boston Dynamics (2020) mener roboter er løsningen på denne utfordringer og har dermed utviklet sin egen kalt Spot. Roboten har fire bein og kan blant annet ta seg opp trapper. Den kan også frakte utstyr som 3D skannere. Det at den også skal kunne transportere seg selv til

ladestasjonen bidrar til at den automatisk skal kunne 3D skanne bygget på natten mens andre aktiviteter ikke foregår på byggeplassen.

Det pågår også forskning for automatiske tilnærminger for planlegging av skanning av konstruksjoner (Biswas, 2020). Løsningene bruker input i form av BIM modeller, skanner karakteristikk, nøyaktighetsnivå og detaljnivå for å planlegge optimale posisjoner for skanning. Dette kan også brukes for å lage ruter for roboter som kan nyttes for skanning (Frías et al., 2019).

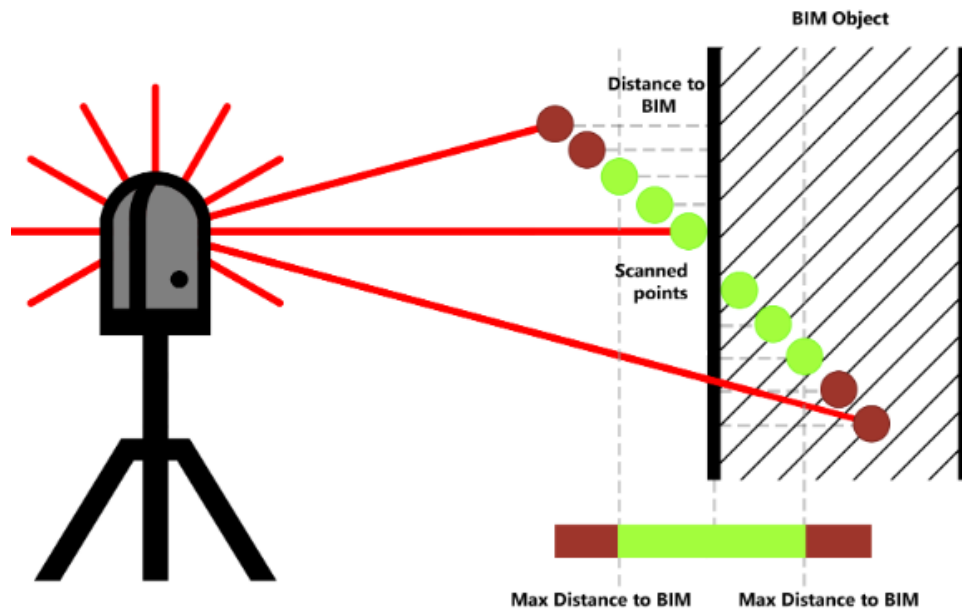
3.4.6 Sammenligne punktsky med BIM modell

Sammenligning av som-bygget punktsky fra 3D laserskanner med prosjektert BIM modell kan gjøres på flere måter, vist i figur 3.7 (Liu et al., 2021). Metode 1 er å sammenligne som-bygget punktsky med en punktsky som genereres fra den prosjekterte BIM modellen. Metode 2 er å sammenligne som-bygget punktsky med mesh fra prosjektert BIM modell. Metode 3 er å sammenligne som-bygget BIM modell med prosjektert BIM modell. Med andre ord, metode 1 og 2 sammenligner som-bygget punktsky med data som stammer fra prosjektert BIM modell. Metode 3 sammenligner som-bygget BIM modell som stammer fra som-bygget punktsky med prosjektert BIM modell. Forskjellen mellom metode 1 og 2 er prosessen med å sammenligne hvert enkelt punkt med et objekt i 3D modellen.

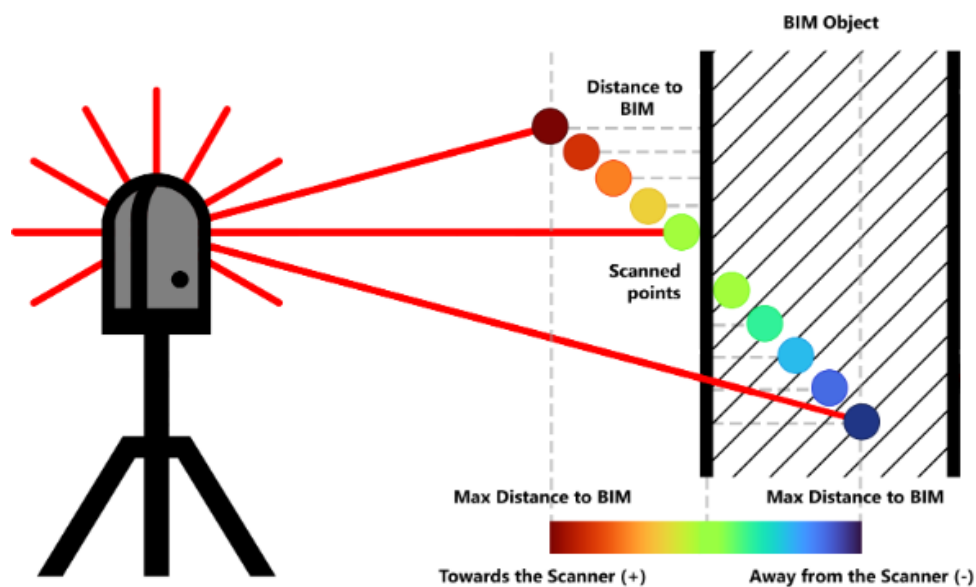


Figur 3.7: Metoder for å sammenligne punktsky og BIM modell (basert på Liu et al., 2021).

Firma som Imerso og Scaled Robotics har begge utviklet løsninger som automatisk skal detektere feil ved å sammenligne skanningsdata opp mot BIM modellen. Programvaren til Imerso kjører en utregning ved en maskinlæringsalgoritme som resulterer i en fastsetting av avstander mellom punktskyen og BIM modell (Imerso, 2020). Avvik som det er mulig å oppdage med analyseverktøyet er for øyeblikket feilplasserte objekter, overfløydige objekter og ujevne overflater. Resultatene fra en sammenligning av punktsky og BIM modell kan fremvises i form av terskelvisning eller varmekart, illustrert i figurene 3.8 og 3.9.



Figur 3.8: Fremstilling av resultater av avviksanalyse ved terskelvisning (Imerso, 2020).



Figur 3.9: Fremstilling av resultater av avviksanalyse ved varmekartvisning (Imerso, 2020).

Terskelvisning er egnet for å finne feilplasserte og overflødige objekter. Resultatene vises i to farger for å skille mellom objekter som er innenfor og utenfor fastsatte toleranseparametere. Hvis punktet er nærmere BIM modellen enn terskelverdien, farges det grønt. Hvis punktet er lenger unna BIM modellen enn terskelverdien, farges det rødt. Varmekart er på den andre siden egnet for analyse av jevnheten til overflater da det viser selv små forskjeller gjennom en «regnbue»-effekt. Varmekartfunksjonen er basert på to toleranseavstander, en minimums- og en maksimumsparameter. Skannepunkter mellom minimum og maksimum parameter er fargekodet i form av en regnbue. Punkter som er utenfor parametrene er skjult. Verktøyet for avviksdeteksjon er dynamisk, noe som betyr at toleranseparameteren kan endres alt etter behovet og resultatene vil umiddelbart oppdateres i en 3D visning av skannresultatene.

3.4.7 3D laserskanning for KS i norske byggeprosjekter

Det finnes kun en tidligere studie av bruken av 3D laserskanning for KS i norsk byggebransje. Dette er en masteroppgave utført ved Universitetet i Stavanger (Jevarunen, 2021). Resultatene fra masterstudien er funnet gjennom spørreundersøkelser og kvalitative intervjuer av både entreprenører og programutviklere. Funnene og konklusjonen i studien varierer på noen punkter fra funnene i denne masterstudien. Disse punktene er nærmere diskutert i delkapittel 5.1.

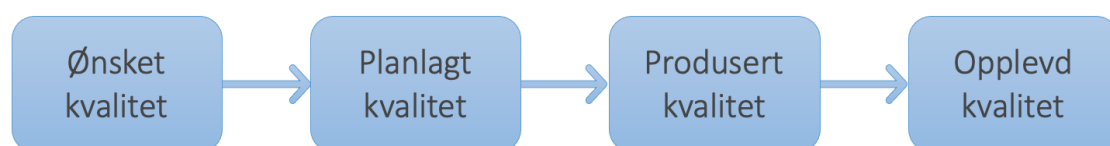
Jevarunen (2021) konkluderer med at det er tydelige indikasjoner på at 3D laserskanning effektiviserer produksjonsfasen ved at forsinkelser i prosjektet unngås. Studien hevder at verktøyet kan identifisere alle avvik enkelt og raskt så fort det forekommer feil på byggeplassen. Det legges også vekt på verdien 3D laserskanning medfører i form av dokumentasjon resulterer i bedre kommunikasjon mellom TE og UE. Studien konkluderer også med at verktøyet kan nyttes som et insentiv mot underentreprenører ved at kvaliteten på deres arbeid blir overvåket. Videre blir renoveringsprosjekter og råbyggfasen i komplekse nybygg sett på som de viktigste bruksområdene. Jevarunen (2021) peker på kostnadene tilknyttet laserskanner og programvare i tillegg til manglende kunnskap og kompetanse som de viktigste barrierene mot å ta i bruk verktøyet i dag. Samtidig opplyser han om at holdningene til verktøyet er god blant alle han intervjuet.

3.5 Kvalitetssikringssystem

3.5.1 Generelt om kvalitet

De aller fleste har kjennskap til begrepet kvalitet, men hva betyr egentlig kvalitet? Olsson (2017) skriver at kvalitet kan være fravær av feil, at produktet imøtekommer kundens behov, eller at det kan være en beskrivelse av at noe er luksuriøst og fint. En annen definisjon av begrepet kvalitet finnes i den internasjonale standarden for kvalitetsstyring (ISO 9000). Kvalitet defineres i ISO 9000 slik: «Kvaliteten til en organisasjons produkter og tjenester bestemmes ved evnen til å tilfredsstille kunder og tiltenkt og utilsiktet påvirkning på relevante interesseparter» (Norsk Standard, 2015, s. 6).

Kvalitet kan deles inn i fire dimensjoner (Bustinduy, 1995, sitert i Olsson, 2017), illustrert i figur 3.10. Med ønsket kvalitet menes den kvalitet som kunden ønsker seg. Olsson (2017) trekker frem at det ikke nødvendigvis er samsvar mellom den kvalitet som kundene forventer og den kvaliteten en leverandør planlegger i sin produksjon. Videre defineres utført arbeid på byggeplass som produsert kvalitet. Den opplevde kvaliteten beskriver kvaliteten etter overlevering fra et kundeperspektiv. I byggeprosjekter er det hovedsakelig fokus på den produserte kvaliteten, altså det som blir bygget på byggeplassene. For å vurdere den produserte kvaliteten er det vanlig å utføre målinger og følge opp avvik.



Figur 3.10: Dimensjoner av kvalitet (Olsson, 2017).

Kontinuerlig forbedring

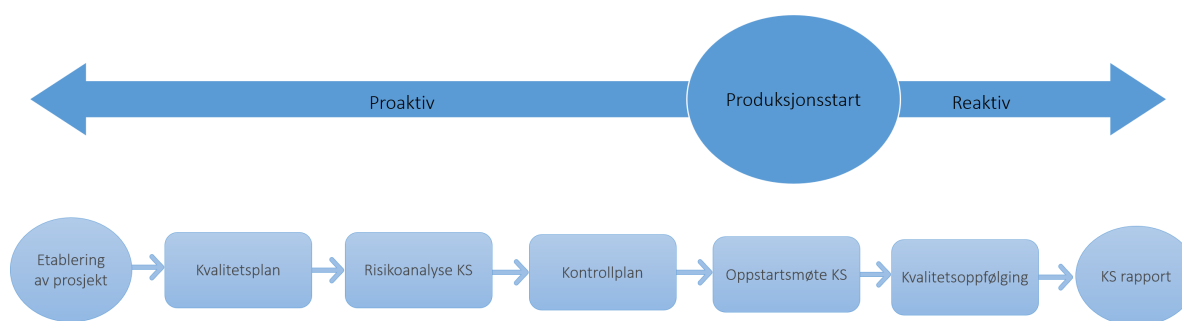
Sentralt i kvalitetsledelse er ønsket om kontinuerlig forbedring (Olsson, 2017). Kontinuerlig forbedring innebærer å identifisere hvorfor feil eller avvik oppstår, for så å korrigere og lære av situasjonen. En viktig del av arbeidet med kontinuerlig forbedring er Deming-sirkelen, som på norsk ofte omtales som PUKK-sirkelen. PUKK står for planlegg, utfør, kontroller, korrigere. Et viktig moment ved kvalitetsledelse, som vier fokus til kontinuerlig forbedring og læring, er at PUKK-syklusen ikke skal ta slutt. Sett i sammenheng med byggeprosjekter så kan PUKK-sirkelen nyttes til kvalitetssikring av enkelte arbeidsaktiviteter så vel som ett prinsipp for helheten av prosjektet. Innenfor kvalitetsarbeid er et viktig prinsipp at feil skal oppdages tidlig. Dersom feil oppdages tidlig vil mulighetene for at man oppnår god kvalitet på bygget styrkes. Målet med å oppnå god kvalitet kan eksempelvis imøtekommes ved involvering og opplæring av håndverkere. En reduksjon i stress og konfliktnivå i byggeprosjektene vil også bidra positivt med tanke på kvalitet.

Måling av kvalitet

Kvalitetsarbeid er faktabasert og en viktig del av dette er målinger (Olsson, 2017). En kjent påstand er at målinger påvirker oppførselen til utførende arbeidere. Dersom det gjennomføres kontinuerlige målinger blir ofte menneskers oppførsel endret slik at målinger oppnår ønsket resultat. Det er mulig å utføre målinger både på prosesser og produkt. Knyttet til arbeidsprosesser er et vanlig mål hvor lang tid en aktivitet tar sammenlignet med planlagt varighet. Målinger av produkt kan eksempelvis være dimensjonsmålinger av ulike bygningskomponenter og fuktighetsmålinger. Olsson (2017) trekker frem viktigheten av å velge de rette indikatorene for måling. Det som ifølge Olsson (2017) kjennetegner gode målinger er enkelhet, at de utføres nær aktiviteten, at de fører til handling og at de fungerer som en beslutningsstøtte for styringsstrategiene.

Kvalitetssikring

En viktig del av arbeidet med kvalitet er styringssystemer (Olsson, 2017). Kort forklart skal styringssystemene gi beskrivelser av hvordan prosjektet skal gjennomføres. Kvalitetssikring (KS) defineres som «alle systematiske tiltak som er nødvendig for å sikre at kvalitet blir planlagt og oppnådd» (Olsson, 2017). KS innebærer altså både kvalitetskontroll for å sjekke at arbeidet er utført ordentlig og kvalitetsplanlegging. Olsson (2017) skriver at kvalitetssystemer prinsipielt inneholder to forskjellige typer informasjon, styrende dokumentasjon og registreringer. Styrende dokumentasjon beskriver bedriftens generelle arbeidsmetoder sammen med beskrivelser for det enkelte prosjekt. Registreringer fungerer som dokumentasjon på utført arbeid. Tradisjonelt sett er kvalitetssystemer håndbøker og fremgangsmåter gitt i permer og sjekklister. I nyere tid har det blitt mer vanlig at bedriftenes kvalitetssystemer ligger på intranett og kan ofte gå under navnene styringssystem eller prosjektmodell. Olsson (2017) påpeker at det i praksis er kvalitetssystemer selv om det blir omtalt med et annet navn i bedriften. Spesielt for byggeprosjekter er det slik at prosjektorganisasjonen må forholde seg til flere ulike kvalitetssystemer. Dette skyldes mangfoldet av aktører som inngår i et prosjekt hvor hver av disse aktørene kan ha sine egne systemer. Figur 3.11 viser et eksempel på hvordan et kvalitetssystem for en entreprenør i BA-bransjen kan være bygget opp.



Figur 3.11: Eksempel på kvalitetssystem (basert på internt dokument fra AF Gruppen).

I byggeprosjekter beskriver kundene den ønskede kvaliteten i spesifikasjoner og kontrakter (Olsson, 2017). Entreprenører lager videre planer for hvordan den ønskede kvaliteten skal leveres. Det er mulig å argumentere for at all planlegging har til hensikt å oppfylle kontraktskravene. Entreprenørene pleier likevel å utarbeide prosjektspesifikke kvalitetsplaner. Kvalitetsplanen skal forklare hvordan kontraktens krav skal leveres med et hovedfokus på KS. Planen inneholder en oversikt over alle aktuelle krav prosjektet må forholde seg til. I planen skal også dokumentstyringen i prosjektet beskrives, og det skal forklares hvordan man skal sikre at det alltid brukes oppdaterte og godkjente versjoner av tegninger og modeller. Ved utarbeidelse av kvalitetsplanen er det som regel entreprenørens KS system som ligger til grunn. Kvalitetsplanen inkluderer en risikoanalyse og en kontrollplan som baserer seg på risikoanalysen. Kontrollplanen skal angi hva som skal kontrolleres og hvem som skal utføre kontrollene. I byggeprosjekter utføres kontroll av utført arbeid som oftest i form av egenkontroll. Enkelte andre arbeid, som kontroll av konstruksjonssikkerhet, er basert på uavhengig tredjepartskontroll.

En viktig del av kvalitetsarbeidet på byggeplasser er avviks- og endringshåndtering (Olsson, 2017). Avvik betyr at det ikke samsvarer mellom utført arbeid og definerte krav, prosedyrer eller spesifikasjoner. Ved oppdagelse av avvik skal kvalitetssystemet sørge for at det utføres korrigerende tiltak for å hindre gjentakelse av avvikene. Avvik som oppdages gjennom kontroll skal dokumenteres og meldes til de ansvarlige aktørene (DiBK, u.å.). Det er da de ansvarlige utførende eller prosjekterende som har ansvar for å lukke avviket. Lukking av avvik kan skje på følgende måter. 1) utbedre identifisert avvik etter kontroll ved en omprosjektering og/eller ombygging. 2) for prosjekteringsavvik kan man bekrefte at valgte løsninger oppfylder gjeldende regelverk. 3) ved utførelse kan man vise til at utførelsen er i henhold til produksjonsunderlaget.

3.5.2 Krav til kvalitetssikring

DiBK (2016a) fastsetter i SAK 10 at «Alle foretak som erklærer ansvarsrett eller søker om sentral godkjenning skal ha skriftlige rutiner for kvalitetssikring som tilfredsstillende krav gitt i, eller i medhold av, plan- og bygningsloven». Hensikten med å stille krav til KS-rutiner er å sikre bedre dokumentasjon, sporbarhet og styring i byggeprosessen som vil bidra til å oppnå en bedre kvalitet på de ferdige byggene. Foretak som søker sentral godkjenning for å påta seg ansvarsrett skal ha KS rutiner som inneholder følgende punkter (DiBK, 2016a):

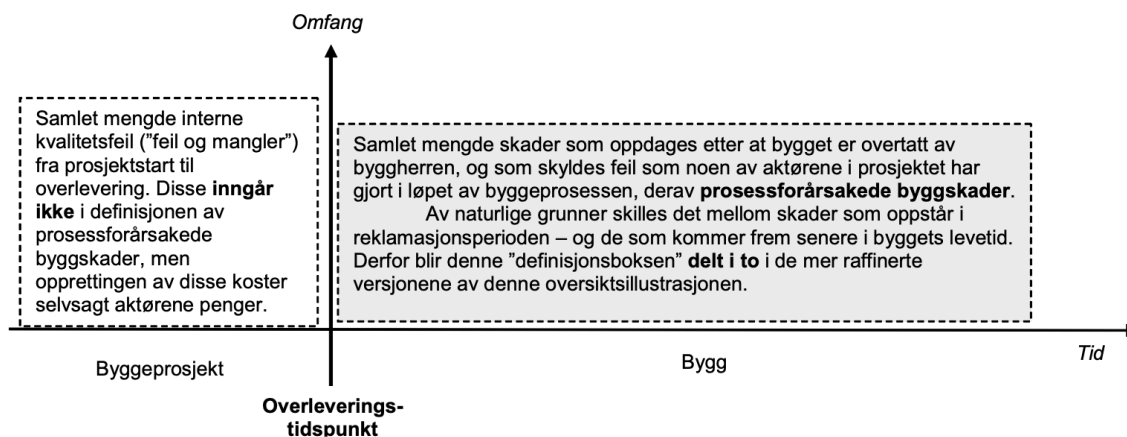
- Rutiner for å identifisere, verifisere, og dokumentere at man oppfyller relevante krav.

- Rutiner for å ivareta de plikter og oppgaver som bedriften har ansvar for.
- Rutiner for å styre andre foretak, eksempelvis UE, som foretaket kjøper tjenester av.
- Rutiner for å identifisere, behandle og lukke avvik. Et viktig punkt er å hindre gjentagelse av avvik.
- Rutiner for å ivareta registrering, endringshåndtering, videreformidling og oppbevaring av dokumentasjon som viser hvordan krav er oppfylt.
- En organisasjonsplan.
- Rutiner for å sikre at foretaket har nødvendige og oppdaterte kunnskaper om krav gitt i PBL.
- Rutiner for å sikre kontinuerlig gjennomgang og oppdatering av KS.

SAK 10 fastsetter at det i et byggeprosjekt skal foreligge dokumentasjon som viser at krav gitt i pbl. er oppfylt. Det er likevel ikke all dokumentasjon i et byggeprosjekt som skal sendes til kommunen for godkjenning, før eventuelt tilsyn (DiBK, 2016b). Dokumentasjonen som skal foreligge ved tilsyn er eksempelvis dokumentasjon på at man oppfylder krav til kvalifikasjon som utdanning, arbeidspraksis og KS rutiner. SAK 10 gir ingen informasjon om hvordan dokumentasjonen skal oppbevares (DiBK, 2016b). Det stilles kun krav til at den enkelt skal kunne fremskaffes ved tilsyn. Eksempelvis kan dokumentasjonen være oppbevart på byggeplassen, internt hos de ansvarlige foretakene eller digitalt. I henhold til pbl. § 23-3 kan kommunen «gi pålegg om retting eller utbedring innen fem år etter at ferdigattest er gitt dersom den oppdager vesentlige forhold i strid med lovgivning eller den gitte tillatelsen, og som den ansvarlige har ansvaret for». Dette innebærer at dokumentasjon må lagres i minimum fem år etter at bygget er overlevert.

3.5.3 Eksistensen av byggfeil og -skader

Forskningen på byggfeil og -skader i BA-bransjen i Norge er begrenset. Ingvaldsen (1994) sin studie var, da den ble utgitt, den første systematiske dokumentasjonen av byggskader i Norge. Denne rapporten resulterte ikke i den ønskede oppmerksomheten og den neste forskningsrapporten kom ikke før i 2008. Ingvaldsen (2008) gjennomførte da en ny studie av byggskadeomfanget i BA-bransjen med utgangspunkt i Ingvaldsen (1994) og et nytt datagrunnlag. Før omfanget av byggfeil og -skader kan presenteres er det nødvendig å definere relevante begreper. Figur 3.12 forklarer forskjellen på begrepene interne kvalitetsfeil og prosessforårsakede byggskader som (Ingvaldsen, 2008) bruker i sin studie.



Figur 3.12: Forklaring av begreper for måling av feil og skader i byggeprosessen (Ingvaldsen, 2008).

Det er viktig å tydelig skille mellom begrepene. Dette kommer av at det har vært en unyansert bruk av begrepet byggskader som har satt byggenæringen i et noe dårlig lys (Ingvaldsen, 2008). Ved bruk av begrepet byggskader har enkelte også inkludert utbedringskostnadene for interne kvalitetsfeil, noe som gir et for høyt tall for byggherres påførte kostnader på grunn av aktørenes feil. Det er også en andel av skader på bygg som skyldes andre grunner enn feil fra aktørene i byggprosjektene. Naturkatastrofer, eksempelvis flom eller storm, som rammer bygg blir også omtalt som byggskader. Dette er for så vidt riktig, men disse skadene kunne ofte ikke vært unngått til tross for at byggeprosjektets aktører utførte arbeidet sitt til perfektjon. Av overnevnte grunner er det derfor viktig å få frem hva som menes med prosessforårsakede byggskader. Ingvaldsen (2008) skriver at det er disse byggskadene som byggleverandører og kunder har felles interesse i å unngå. Kjentegn ved prosessforårsakede byggskadene er:

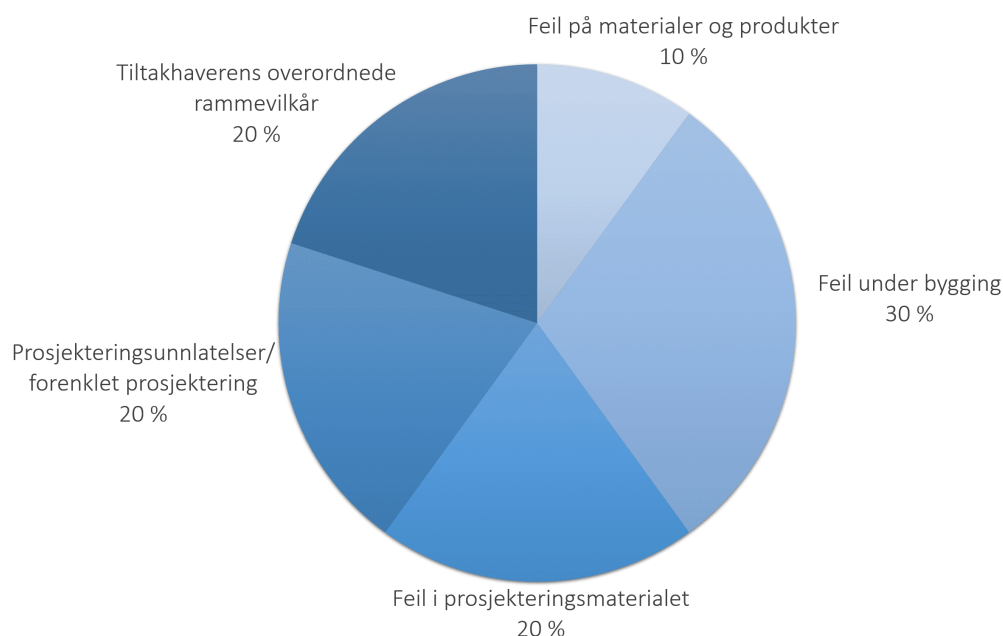
- At de oppdages av BH eller bruker og krever deres oppmerksomhet.
- At de er forstyrrende for brukerne, noe som videre kan føre til tap i inntekt for bruker.
- At de etter reklamasjonstidens utløp (fem år etter overtakelse av bygg) påfører eier utbedringskostnader. Dette er med unntak av alvorlige skader som tilhører kategorien «grov uaktsomhet». Da må ansvarlige aktører ta kostnadene.
- At de i reklamasjonstiden normalt rettes opp for ansvarlig utførende sin regning. Disse skadene kan likevel medføre ulemper for bruker, slik som nevnt over.

I produksjon av alle varer og produkter forekommer interne kvalitetsfeil (Ingvaldsen, 2008). Vanlig praksis i de aller fleste andre sektorer er å ikke trekke interne kvalitetsfeil inn i statistikken som omhandler et produkts avvikelser fra spesifisert ytelse. For bygg burde det også være slik at aktørenes samlede «godhet» ble målt gjennom avvik på det ferdige produkt, altså ved utbedringskostnader i reklamasjonstiden og resten av byggets levetid. Generelt sett fører lavere utbedringskostnader til en bedre ressursutnyttelse, noe som vil være bra for samfunnet. Gevinstene av lave utbedringskostnader oppstår uansett om det angår avvik oppdaget før eller etter bygget er overlevert til eier. Utbedringskostnader for bedriftene i BA-bransjen virker direkte inn på resultatene enten det skjer før eller etter overlevering. Det vil derfor være nødvendig å studere begge typene av utbedringskostnader, både interne kvalitetsfeil og prosessforårsakede byggskader, under ett for å kunne si noe om forbedringspotensialet for bransjen.

Ingvaldsen (2008) konkluderer med at det beste anslaget for de prosessforårsakede byggskadene er at de ligger på mellom 2-6 % av byggproduksjonen. De interne kvalitetsfeilene anslås til å være mellom 3-7 % av byggproduksjonen. Det samlede forbedringspotensialet for byggfeil og -skader i norsk byggevirksomhet blir dermed i størrelsesorden 5-13 % av byggproduksjonen. Antallet byggskader i Norge er fremdeles på et for høyt nivå (SINTEF Byggforsk, 2020). Hverken endringer i byggteknisk regelverk eller en økning i oppmerksomhet rundt byggskader har resultert i en betydelig reduksjon av omfanget. Med bakgrunn i dette er det rimelig å anta at det fortsatt oppstår byggskader for milliarder av kroner hvert år (SINTEF Byggforsk, 2020). På den andre siden kan de interne kvalitetsfeilene for enkelte seriøse aktører ha gått ned (SINTEF Byggforsk, 2020).

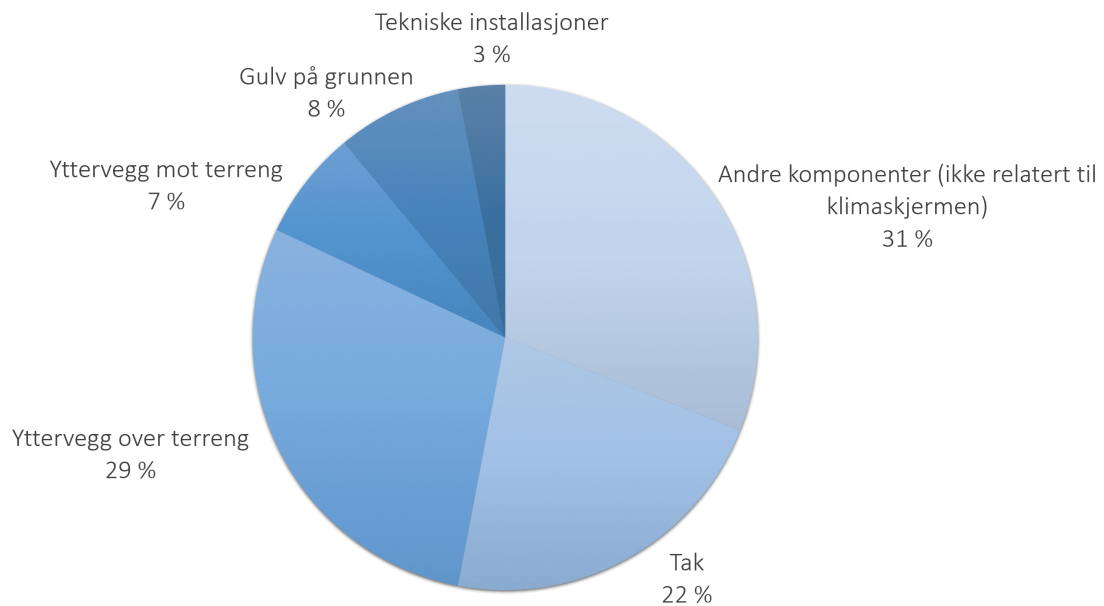
Årsakene til byggskader

Figur 3.13 viser hvor i byggeprosessen byggskader har sitt opphav. Det kan sies at produktfeil, utførelsesfeil og prosjekteringsfeil står for henholdsvis 10 %, 30 % og 60 % av alle prosessforårsakede byggskader (SINTEF Byggforsk, 2020). Konklusjonen er at byggskadeforekomsten bør reduseres uansett hvilken fordeling skadene har (SINTEF Byggforsk, 2020). For å få til en reduksjon i de prosessforårsakede byggskadene er det nødvendig å forbedre produktene, prosjektere bedre, og i større grad etterstrebe riktig utførelse. SINTEF Byggforsk (2020) legger vekt på at alle deler av byggeprosessen bør forbedres. Dette inkluderer byggherrens arbeidere, prosjektering, utførelse og bruk av bygningen. Spesifikt for utførelsen av prosjekter kan dette gjøres ved å planlegge kontroll i tilstrekkelig omfang. SINTEF Byggforsk (2020) trekker frem at det ikke er noe mål å kontrollere «mest mulig». Det er i stede viktigere å finne de punktene som er mest kritisk å kontrollere.



Figur 3.13: Fordeling av når i byggeprosessen byggskadene har sitt opphav (Byggforskserien 700.110).

Figur 3.14 viser prosessforårsakede byggskader fordelt på skadested. Den største årsakskilden til prosessforårsakede byggskader er fukt. Ifølge SINTEF Byggforsk (2020) står prosessforårsakede byggskader relatert til fukt for minst 75 % av skadene. Vanlige årsaker til fuktrelaterte skader er vannlekkasjer fra badrom, innebygd overskuddsfukt med påfølgende kondens, vannlekkasjer utenfra og sopp og råte. Ser man til skadesakene for prosessforårsakede byggskader kan det konkluderes med at det er risiko for skader i alle bygningsdeler i hele bygningen (SINTEF Byggforsk, 2020).



Figur 3.14: Oversikt over byggskadeomfang fordelt på skadested (Byggforskserien 700.110).

3.5.4 Konflikter og tvister

I gjennomføringen av byggeprosjekter kan det oppstå uoverensstemmelser mellom aktørene i byggeprosessen (Lædre, 2009). Uoverensstemmelsene kan på den ene siden føre til oppklaringer eller forbedring av arbeidsplaner. På den andre siden kan uoverensstemmelsene utfolde seg til tvister og konflikter mellom aktørene. Sabri og Torp (2022) hevder at norsk byggenæring og dets prosjekter er preget av konflikter. Dette fører med seg flere negative effekter. Uløste tvister som når domstolene krever både tid og ressurser å løse, noe som kan føre til tapt produktivitet og høyere kostnader for interessentene. Lædre (2009) skriver at det er fordelaktig å unngå at uoverensstemmelser utvikler seg fordi omfattende tvister kan føre til at de involverte aktørene fokuserer mer på å vinne tvisten enn å legge ressurser inn i prosjektet. Dette kan igjen føre til et prosjekt av dårligere kvalitet.

Tvister som oppstår i byggeprosjekter kan skyldes flere årsaker. Lædre (2009) nevner manglende prosjektering, manglende usikkerhetsstyring, dårlig organisering av prosjektet, trange rammer og personalkjemi som årsaker til at tvister oppstår. De nevnte årsakene kan videre føre til hendelser som endringer, feil og mangler, uforutsette hendelser, uklare grensesnitt i kontrakter og dårlig kommunikasjon. For å redusere omfanget av tvister i byggeprosjekter er det viktig at prosjektledelsen arbeider målrettet mot å fjerne de utløsende årsakene. Klarer man fortsatt ikke unngå at tvister oppstår bør tvistene forsøkes å løses på tidligst mulig tidspunkt slik at man unngår tap i produktivitet.

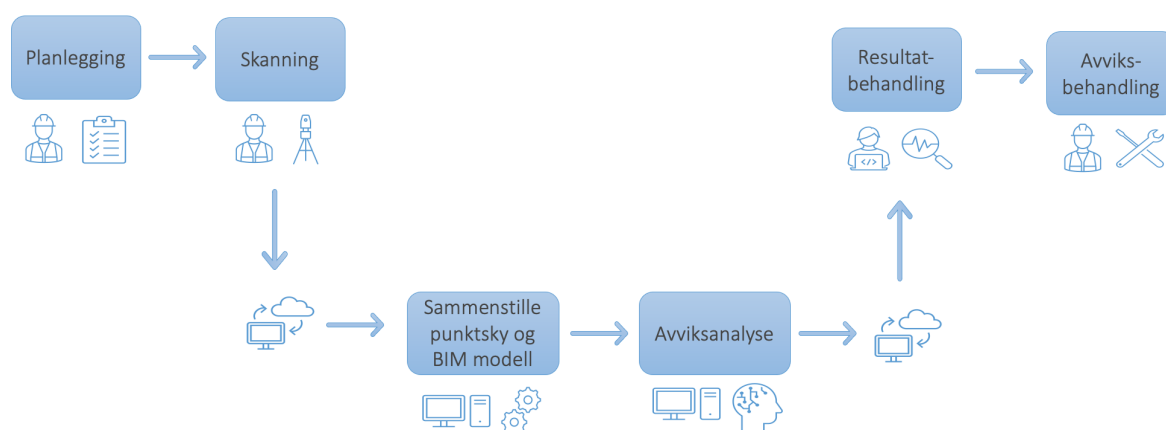
Resultater

Følgende kapittel presenterer funn fra intervjuer, dokumentstudien og avviksanalysen.

4.1 Resultater - Intervju

4.1.1 Prosess for 3D laserskanning for KS

En generell prosessbeskrivelse for 3D laserskanning for KS er illustrert i figur 4.1. Figuren er basert på intervjuobjektens uttalelser hvor dette er hovedstegene som har vært felles i arbeidet med 3D laserskanning for KS i alle de studerte prosjektene.



Figur 4.1: Prosessbeskrivelse 3D laserskanning for KS (basert på internt dokument i AF Gruppen).

Steg 0 - Planlegging

KS prosessen starter som regel med planlegging av hvordan og hvor 3D laserskanningen skal gjennomføres.

Steg 1 - Skanning

Etter hvert som bygningskomponenter blir ferdigbygget samles det inn data med en laserskanner i form av en punktsky.

Steg 2 - Prosessering av data

Rådata fra skanning blir så lastet opp til enten Scaled Robotics eller Imerso. I programmene blir punktskymodell sammenstilt med prosjektets BIM modell. Deretter følger en filtrering hvor støy og rot blir fjernet fra modellen. Videre utfører en maskinlæringsalgoritme en analyse for å finne komponenter fra punktsky som avviker fra BIM modellen.

Steg 3 - Deteksjon av avvik

Etter programplattformen er ferdig med å analysere dataen følger en manuell gjennomgang av resultatene hvor entreprenør identifiserer hva som er avvik.

Steg 4 - Distribusjon og utbedring av avvik

Til slutt følger en avviksbehandling av de registrerte avvikene. Alle intervjuobjektene benyttet seg av Dalux som hovedplattform for kommunikasjon av avviksinformasjon mot UE. Scaled Robotics og Imerso sine løsninger ble sammen med e-post benyttet mot prosjekterende firma.

Utstyr

De ulike firmaene brukte flere ulike typer utstyr for skanning og behandling av skanningsdata. Det ble brukt 5 ulike skannere, og 3 ulike programvarer for behandling av skanningsdata.

- Laserskanner, Leica BLK360 - Imerso
- Laserskanner, Leica BLK360 - Scaled Robotics
- Laserskanner, Leica RTC360 - Scaled Robotics
- Laserskanner, Faro Focus S - Scaled Robotics
- Fotogrammetri, Matterport Pro 2 - Matterport (ikke avviksbehandling)

I alle firmaene ble skanneren delt internt i firmaet mellom flere prosjekter. Ett av intervjuobjektene benyttet seg av en innleid skanner. Denne skanneren ble benyttet på tre prosjekter. Resten av intervjuobjektene benyttet seg av en innkjøpt skanner som ble delt mellom de ulike prosjektene i regionfirmaet. Alle intervjuobjektene så på det som positivt å dele skanneren mellom flere prosjekter. Dette er med på å dele kostnadene ved skanneren. De påpeker også at prosjektene i firmaet som regel ofte er i ulike faser, og at prosjektene dermed ikke har like stort behov for skanneren til enhver tid.

Ett av intervjuobjektene mente at selv om regionfirmaet delte skanneren og flere hadde mulighet til å bruke den ble den allikevel ikke brukt i praksis. Intervjuobjektet sa følgende om delingsløsningen: «Intensjonen var at vi skulle dele skanneren, men terskelen for å ta den i bruk var så stor at det var ingen som lånte eller etterspurte den selv om vi inviterte til å demonstrere.»

Ansvarlige for 3D skanning for KS

De ulike firmaene har noe ulik fremgangsmåte når de benytter seg av 3D laserskanning for KS hvor begge fremgangsmåtene, ifølge intervjuobjektene, medfører fordeler og ulemper.

Flertallet av Betonmasts prosjekter har forsøkt å involvere alle de som er involvert i KS i prosjektledelsen for de fagene de ønsker å skanne til å utføre skanning for KS prosessen. Dette har imidlertid ikke fungert like bra i praksis, og kun enkeltpersoner i prosjektledelsen har tatt hovedtyngden av arbeidet. Disse personene har imidlertid opparbeidet seg en god mengde erfaring med 3D laserskanning for KS. Ett av intervjuobjektene beskriver at det oppstår en «konflikt i interesse» ettersom de tekniske personene i prosjektteamet har blitt sittende med KS jobben tilknyttet skanner uten å ha et dedikert ansvar innen kvalitetssikringen på prosjektet. Dette har ført til at det oppstår en prioriteringskonflikt der de dedikerte oppgavene tilknyttet rollen fort blir prioritert fremfor KS-skanning arbeidet.

AFs prosjekter har derimot brukt personer fra en «prosjektstøttegruppe» til å reise mellom prosjektene for å utføre skanningen. Disse har dermed god erfaring med verktøyet, men samtidig mindre tilknytning til det spesifikke prosjektet. Intervjuobjektene fra disse prosjektene har nevnt at en god kommunikasjon og involvering av dem som driver med produksjonsoppfølging på prosjektet har vært sentralt. Ett av intervjuobjektene forteller eksempelvis at han som en ekstern ressurs kommer senere enn optimalt til flere av prosjektene. Dette medfører igjen at mange av avvikene oppdages sent, og dermed blir vanskeligere å utbedre.

4.1.2 Oppdagelse av flere avvik

Det er enighet blant intervjuobjektene om at man finner flere avvik ved å benytte seg av 3D skanning sammenlignet med tradisjonelle metoder. Ved tradisjonelle metoder som stikkontroller så har man et formål med å sjekke en ting, også går man eksempelvis ut og sjekker avvik på ulike vegger, det som er montert eller støpt. Dersom det benyttes 3D laserskanner så får man mer av alt. På denne måten vil et mye større omfang dekkes og avvik som man aldri kunne tenkt seg å sjekke kan bli oppdaget på en skann. Ett intervjuobjekt forklarer det slik:

Man oppdager flere avvik fordi man har en helt annen tilnærming til hvordan man oppdager avvikene, altså fra manuelle metoder som rettholt og manuelle målinger. Det viser seg at 3D skanningen er såpass eksakt at du får med deg ekstremt mye. Det vil si at du får med deg alt i det området det skannes.

Ett annet intervjuobjekt trekker frem et eksempel fra et prosjekt hvor de trodde at de var nesten helt feilfrie i byggeproduksjonen. Etter en utført skann viste det seg imidlertid at det var et par feil. Feilene inkluderte manglende utsparinger og en for trang heissjakt, og ble utbedret før de medførte store kostnader.

Kvalitetskontroll av tekniske føringer trekkes også inn som et eksempel. Dersom disse bygges annerledes enn prosjektert er det ikke sikkert at dette hadde blitt oppdaget av TE. Det er svært tidkrevende og utfordrende for TE å utføre manuelle kontroller på alle høyder av tekniske føringer basert

på 2D tegninger. 3D laserskanning er her et effektivt hjelpemiddel hvor man får satt de tekniske føringene inn i et visuelt 3D perspektiv. Dette gjør det enklere å kontrollere plassering- og høydeavvik av tekniske føringer.

Funn fra intervjuene viser at det er ulike meninger rundt om avvikene hadde blitt oppdaget med tradisjonell KS eller ikke. Disse ulike meningene går på at det er ulike definisjoner på hva som regnes som tradisjonell KS. Der noen intervjuobjekter anser tradisjonell KS som en operasjon som utføres før problemer oppstår, anser andre det som tradisjonell KS så lenge avvik oppdages i løpet av produksjonen. Dermed regnes også avvik som oppdages som følge av en kollisjon på plassen av disse som tradisjonell KS. Ett intervjuobjekt mener at man ikke hadde oppdaget avvikene de fant med vanlig KS. Et eksempel med ujevnheter i en heissjakt trekkes frem. Dette avviket hadde vært vanskelig å oppdage uten 3D laserskanner. Entreprenøren kunne da ha risikert å oppdage avviket først når heisen skulle monteres, noe som ville ført til forsinkelser. Et annet intervjuobjekt mener at avvikene som de til nå har funnet med 3D laserskanning uansett ville blitt oppdaget. «Av det jeg har opplevd til nå av avvik, så tror jeg vi hadde sett dem uansett på et eller annet tidspunkt. Bare at det ville kostet veldig mye mer å fikse fordi man hadde kommet så mye lenger.»

Avvik som identifiseres med 3D laserskanner

Ved bruk av 3D laserskanning kan det identifiseres en rekke ulike avvik. De ulike formene for avvik som oppdages er plasseringsavvik, plan- og helningsavvik samt manglende komponenter. Intervjuobjektene opplyser om at avvikene de oftest har fokusert på, og som det dermed også oppdages mest av, går på betongkonstruksjoner, rør, ventilasjon og elektriske hovedføringer. For en mer utfyllende beskrivelse av avvik som er identifisert med 3D laserskanner se delkapittel 4.3.

Utbedringer eller endringer av avvik

Dersom det oppdages et avvik er det tre muligheter som gjelder. Den ene er å omprosjekttere, slik at det som er bygget stemmer overens med BIM modellen. Det andre alternativet er å fikse avviket på byggeplassen slik at det stemmer overens med BIM modellen. Eventuelt så har man muligheten til å ikke gjøre noe.

Avvikstypen og alvorlighetsgrad har påvirkning på om det er nødvendig med utbedringer eller endringer. Er det snakk om kritiske bygningskomponenter er det helt klart at avviket bør utbedres, men dersom avviket er mindre alvorlig har noen av intervjuobjektene erfart valget som vanskeligere å bedømme. Eksempelvis medfører det en liten konsekvens dersom de tekniske installasjonene i himling legger seg 10 cm lavere enn prosjektert, så lenge det ikke oppstår kollisjoner. Dersom man oppdager dette avviket ved skann oppstår problemstillingen for TE om man må gjøre noe med det. Et av intervjuobjektene forteller at man fort oppleves som pirkete av UE, og at det fort kan oppstå uenigheter med dem rundt denne problemstillingen.

4.1.3 Tidligere oppdagelse av avvik

De fleste intervjuobjektene er enige om at avvikene blir oppdaget tidligere ved bruk av 3D laserskanner. En av de store fordelene med å benytte 3D laserskanning for KS er at avvikene oppdages såpass tidlig at det er mulig å enten foreta en omprosjektering eller gjøre utbedringer på byggeplassen. Det er altså en stor verdi ved å avdekke avvik før neste aktør kommer på byggeplassen og ikke får montert eller at det skjer en kollisjon. Intervjuobjektene erfarer også at det er rimeligere å utbedre et avvik jo tidligere det blir funnet.

Ett intervjuobjekt har oppfatning om at avvikene kan oppdages tidligere, men det er hvis 3D skanning blir planlagt fra starten av. På prosjektene der intervjuobjektet utførte 3D skanning var bygningskomponenter ferdigbygd. Effekten av å finne avvikene tidlig var dermed ikke til stede fordi neste etasje allerede var bygget. Dersom det planlegges i tidlige faser av prosjektet at det skal brukes 3D laserskanning for KS vil det være mulig å utnytte det at avvikene oppdages tidligere.

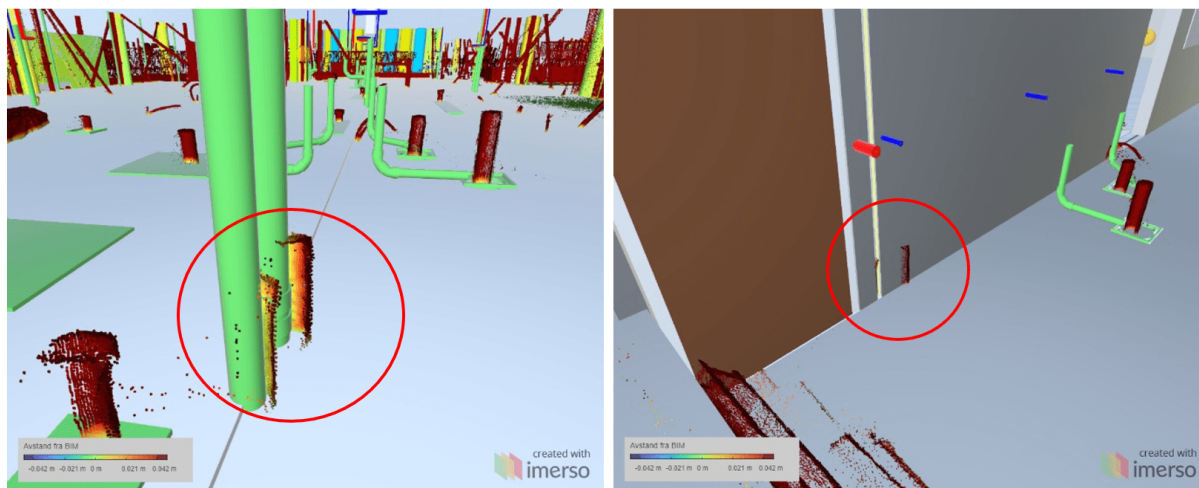
Distribusjon av avviksmeldinger

Tiden det tar fra et avvik oppdages til avviksmeldingen når den som skal utbedre feilen er direkte avhengig av arbeidsprosessen til prosjektledelsen. Ett intervjuobjekt nevner at det ikke tar lang tid å sende ut avviksmeldingene dersom de er har god kapasitet og er flinke med prosessen. Den mest vanlige distribusjonskanalen for avviksmeldinger er Dalux, hvor avvikspunkter tildeles det relevante utførende faget. I Daluxpunktene blir det lagt til informasjon om det spesifikke avviket, ofte i form av skjermbilder av situasjonen fra flere vinkler, med mål og plassering på oversiktskart. Resultatene tyder på at det er de samme systemene som blir benyttet til registrering av avviksmeldinger med og uten 3D laserskanning. Dermed er det ikke nødvendigvis slik at de når noe særlig fortere frem til de som skal utbedre avviket.

Det trekkes også frem at avviksmeldingene kan registreres i plattformer som eksempelvis Imerso. Imersoplattformen brukes imidlertid i svært liten grad i de prosjektene som intervjuobjektene har vært en del av. Særlig i kommunikasjon med prosjekterende virker Imersoplattformen å være fordelaktig. Imersoplattformen legger til rette for at informasjon om 3D objektene i forhold til omprosjektering og plassering kan deles. Ved å benytte BCF-filer tilknyttet et avvik kan BIM modellene automatisk oppdateres til å samsvare med det som er registrert med 3D laserskann. Dette går man altså glipp av ved å bruke skjermbilder. Det å bruke skjermbilder og manuelt velge plassering i Dalux for å illustrer hvor avvikene befinner seg har likevel fungert greit fordi det er veldig enkelt og visuelt.

Raskere utbedring av avvik

Ved bruk av 3D laserskanner er det store muligheter for at avvikene blir utbedret raskere enn ved tradisjonell KS. For eksempel fant det ene intervjuobjektet et avvik på oppstikkende rør som hadde blitt lagt ned før støp, illustrert i figur 4.2. Her skulle et rør treffe en gipsvegg som ikke skulle oppføres før 4 måneder senere, men da kunne de på skannresultatene tydelig se at røret var feilplassert. Dette avviket kunne da fort fikses og man unngikk improviserte løsninger i ettertid.

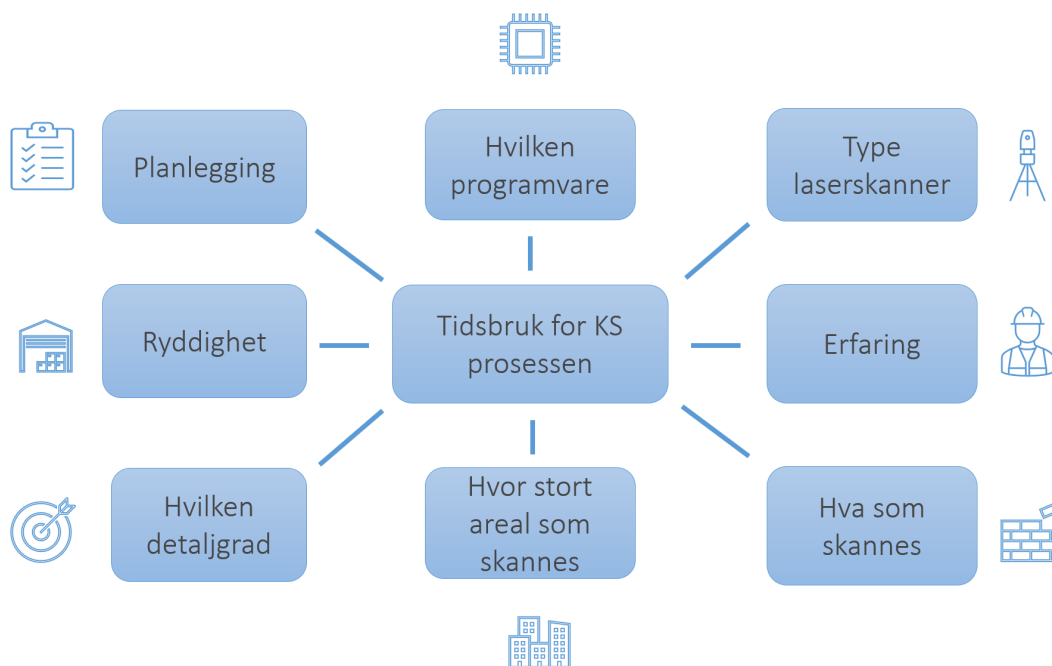


Figur 4.2: Avvik på røroppstikk (Utklipp fra prosjektside i Imerso).

En fordel som trekkes frem ved å bruke 3D laserskanner er at det blir mye kortere vei til å forstå omfanget og konsekvensene av avvikene. Verktøyet bidrar til at det kommer tydelig frem dersom eksempelvis et rør er feilplassert med et visst antall centimeter. Den byggede og planlagte situasjonen blir visualisert sammen, og gir dermed et grunnlag for raskere å kunne bestemme seg for hvordan avviket skal utbedres. Det blir dermed mye enklere for utførende og prosjekterende å eventuelt gjøre om på og forstå omfanget av avviket.

4.1.4 Tidsbruk for KS prosessen

Det er flere faktorer som spiller inn på hvor lang tid KS prosessen vil ta ved bruk av 3D laserskanner. Figur 4.3 illustrer hvilke faktorer som påvirker tidsbruken.



Figur 4.3: Påvirkende faktorer for tidsbruk ved 3D laserskanning for KS. (Egenprodusert).

Det varierer blant de ulike intervjuobjektene om de opplever KS prosessen som raskere enn tradisjonelle metoder. Ett intervjuobjekt tror at de med å utføre 3D laserskann gjør mer kvalitetssikring enn før. Intervjuobjektet er noe usikker på om dette er deres ansvar som TE, men mener at dersom de får 3D laserskanning inn i arbeidsmetodikken deres vil KS prosessen gå raskere.

Ett annet intervjuobjekt setter KS med laserskanning opp mot tradisjonell KS og mener at det ikke tar lengre tid med tanke på det man får ut av å utføre en skann. Dersom det samme overflatearealet som dekkes med skann skulle bli dekket med manuelle målinger ville det tatt enormt mye mer tid. KS prosessen oppleves altså av enkelte som raskere ved bruk av 3D laserskanner fordi man ved skanning får en såpass omfattende KS og finner mye mer enn ved tradisjonelle metoder.

Det mest tidkrevende ved prosessen er det å utføre selve skanningen ute på byggeplass. Andre moment som også tar en god del tid er analysebiten og gjennomgang av avvik. Distribusjon av avviksmeldingene oppleves ikke som særlig tidkrevende. Tids- og ressursbruk for en av løsningene for skanning presenteres i dokumentstudien, se tabell 4.1 i delkapittel 4.2.2.

4.1.5 Påvirkning på tradisjonell KS

Slik situasjonen er i dag så brukes 3D laserskanning som et tillegg til både UE og TE sitt tradisjonelle KS arbeid. Siden 3D laserskanneren fungerer som et tillegg til eksisterende kvalitetssikringsrutiner blir ikke selve prosessen med KS på prosjektet nødvendigvis raskere. Skanneren har imidlertid i noen grad erstattet tradisjonelle verktøy som avstandsmåler, tommestokk og vater for å sjekke overflater. Det er også en mulighet for at 3D laserskanning kan erstatte bildetaking dersom man er flinke nok til å ta regelmessige skann. Utfordrerene til 3D laserskanning er 360 foto, noe som flere av intervjuobjektene benytter seg av i stedet for laserskanning. 360 foto oppleves som et enklere og raskere verktøy. Ett intervjuobjekt bemerker at det ikke hadde vært nødvendig å bruke bilder dersom det hadde blitt skannet ofte nok. Ettersom dette ikke gjøres fungerer 3D laserskanning som et supplement til bilder.

I dag brukes 3D laserskanning for å få en totaloversikt over det som er utført på et byggeprosjekt. Enkelte bruker resultatene fra skann til å identifisere hvor man skal gå inn å sjekke på tradisjonelt vis. Det brukes da til å gi beskjed til de utførende at de i et tenkt område må se om det kreves utbedringer eller om at de i området skal dokumentere at det er bygget i henhold til toleransekravene.

4.1.6 Dokumentasjon av produsert kvalitet

Ifølge intervjuobjektene fører 3D laserskanning til at dokumentasjonen av produsert kvalitet blir bedre. Dokumentasjonen som man får etter 3D laserskanning har en rekke bruksområder, både underveis i byggeprosessen og i ettertid.

- Dokumentasjonen kan brukes dersom det for eksempel stilles reklamasjonskrav mot TE. Dokumentasjonen gjør det mulig å gå tilbake å se hvordan bygget så ut eksempelvis før et dekke ble støpt eller før en gjenstand ble bygget inn i veggen.

- Brukes av TE opp mot byggherre for å bevise at de gjør kvalitetskontroll, der kontrollen blir på et helt annet nivå enn tidligere. En grundig kvalitetskontroll gir en trygghet til byggherre om at TE bygger i henhold til det prosjekterte underlaget som det er investert mye i.
- Ved endringer i bygget som ikke nødvendigvis blir prosjektert så har den prosjekterende muligheten til å bruke resultatene fra skann til å tegne om.
- Dokumentasjon ved konflikt med UE.

Det fremstår i dag som at dokumentasjon fra 3D laserskanning benyttes som et supplement til vanlig dokumentasjon. Ett intervjuobjekt nevner at dokumentasjonen fra skann hadde vært god nok for en utførende entreprenør, men siden de selv ikke har egenproduksjon så må verktøyet brukes som et supplement. De skal altså fortsatt motta sjekklister og annen KS dokumentasjon på tradisjonelt vis fra UE.

4.1.7 Tegningsunderlaget og som-bygget modell

Endring av tegninger ved avvik

Resultatene tyder på at det ikke er noen merkbar endring i antall oppdateringer av tegninger når det brukes 3D laserskanner. Ett intervjuobjekt mener imidlertid at den økte avviksdeteksjonen med 3D laserskanning muliggjør en hyppigere oppdatering av tegningsunderlaget. Det samme intervjuobjektet håper at det kan bli slik at tegninger blir oppdatert oftere, men har opplevd motstand mot å omprosjektere fortløpende fra de prosjekterende. Slik det er nå så er 3D laserskanning ett punkt i kontrakten, men det står ikke noe om hvordan man skal forholde seg til fortløpende omprosjektering. Kulturen er slik at de prosjekterende venter til slutten av prosjektet før det blir gjort oppdateringer på BIM modellen.

Andre intervjuobjekter har også registrert et behov for at tegningene skal oppdateres, men de påpeker at dette kun gjelder for enkelte avvikstyper. For kollisjoner med en betydelig konsekvens er det viktig å oppdatere tegningene, men utover det ser de ikke noe poeng å bruke unødvendig mye ressurser på å kontinuerlig revidere modellen. De ser på det som unødvendig å eksempelvis tegne opp alle kabler og veldig små detaljer slik som for eksempel oppheng til kabelbroer. Av ett intervjuobjekt blir det trukket frem at det bør etableres en skjønnsmessig grense med tanke på detaljering av modellen.

Påvirkning på som-bygget modell

I tillegg til at 3D laserskanning muliggjør en hyppigere oppdatering av tegningsunderlaget, muliggjør verktøyet også en mer nøyaktig som-bygget modell, ofte kalt digital tvilling. BIM modellen som TE leverer til byggherre etter ferdigstillelse skal i utgangspunktet reflektere det som faktisk er bygget. Kvaliteten på denne modellen er imidlertid varierende. Et av intervjuobjektene forklarer situasjonen slik:

Vi har jo en BIM manual som krever et visst nivå på modellen, men det avhenger veldig ofte av byggherre og hva byggherre ser i verdi av å drifte bygget videre ved bruk av den digitale modellen. Jeg er opptatt av at begrensningen er om de ønsker å bruke penger på det.

Det kan gi en gevinst for byggherre å ha en som-bygget modell som gjenspeiler virkeligheten dersom bygget skal driftes ved bruk av modellen. Da vil det eksempelvis være mulig for byggherre å se nøyaktige plasseringer av tekniske installasjoner i lukkede vegger og himlinger. Dersom det er noe som skal byttes som ligger inne i en vegg vet de ved bruk av en slik modell nøyaktig hvor de skal åpne opp. Utover geometriske data kan også en som-bygget modell inneholde informasjon om produkter og leverandører. Dersom noe eksempelvis skulle slutte å fungere etter ti års drift så vet byggherre hvor komponenten befinner seg i tillegg til hvilken type komponent det er før veggen åpnes.

4.1.8 Verdi for prosjektledelsen

3D laserskanning kan ifølge intervjuobjektene helt klart brukes av prosjektledelsen som et styringsverktøy. Skanningen kan brukes til kvalitet- og fremdriftsstyring og kan bidra til en mer digital byggeplass.

Kvalitetsstyring

Resultatene av en 3D laserskann gir en god indikasjon på den produserte kvaliteten i prosjektene. Eksempelvis så avdekket det ene intervjuobjektet mye avvik i de første par etasjene på en leveranse av en spesifikk entreprenør. Videre opp i etasjene ble det registrert at resultatet ble bedre og bedre etter at det ble iverksatt tiltak. Informasjonen fra 3D laserskanning kan gi en stor verdi for prosjektledelsen fordi det åpner for muligheten til å ta tak i kritiske momenter på et tidlig tidspunkt. Et lignende eksempel på kvalitetsstyring ble tatt opp av ett annet intervjuobjekt som oppdaget at ett betongarbeidslag leverte dårligere kvalitet enn ett annet. På grunn av skanning var det mulig å ta tak i dette tidlig på fremdriftsmøter. Ifølge et av intervjuobjektene gjør skanning det mulig for prosjektledelsen å være mer våken og følge opp eller gjøre endringer når det ene arbeidslaget utfører arbeid på prosjektet. Oppfølging av kvalitet med 3D laserskanner viser at totalentreprenørens prosjektledelse følger med, tar kvalitet seriøst og sørger for at samme feil ikke gjentas i prosjektet.

Fremdriftsstyring

Slik situasjonen er i dag så bruker et fåtall av intervjuobjektene 3D laserskanning for å tilegne seg en begrenset oversikt av fremdriften i områder av prosjektene. Etter utført skann vil man kunne danne seg et helhetsbilde av hva som har blitt montert i det skannede området. Fordelen med skanning er ifølge ett intervjuobjekt at man får denne oversikten hyppigere og mer presist enn før. Det er fremdeles aktører i byggeprosessen som prøver å komme seg unna med å si at de er ferdige med produksjon i et område, og at det dermed er klart til neste fag, mens de i realiteten enda ikke er ferdige. Ved slike eksempler fungerer skann bra da prosjektledelsen får kontroll og kan ta tak i dette.

Flesteparten av intervjuobjektene benytter seg imidlertid ikke av fremdriftsoppfølging med 3D laserskanning i dag. Flere nevner at de ser muligheten som er til stede, og at det kan være fordelaktig, men at det foreløpig er vanskelig å få til i praksis. Det utvikles stadig løsninger som bruker kunstig intelligens til å sammenligne resultatene fra laserskanning og fotogrammetri opp mot fremdriftsplanen til prosjektet. Ett intervjuobjekt mener imidlertid at verktøyet, slik det fremstår i dag, ikke er lagt opp til at det skal kunne måle fremdrift mot plan på en automatisert måte.

Dersom 3D laserskanning skal brukes til oppfølging av fremdrift er det nødvendig å samle inn data kontinuerlig gjennom prosjektet. Dette oppfattes imidlertid i dag som svært tidkrevende. Ett intervjuobjekt trekker i denne sammenhengen inn at det kan være aktuelt å benytte verktøyet til fremdriftsstyring dersom datainnsamlingsprosessen blir mer automatisert. Et eksempel på dette kan være bruk av roboter. Roboter vil kunne gjøre det mulig å samle inn data i løpet av natten. Ideelt sett kan prosjektledelsen da få en oppdatert oversikt av fremdriftssituasjonen på byggeplassen morgenen etter, og iverksette tiltak basert på denne informasjonen.

Fysisk tilstedeværelse på byggeplassen

Det er delte meninger blant intervjuobjektene vedrørende påstanden om at 3D laserskanning fører til mindre fysisk tilstedeværelse på byggeplassen. Ett intervjuobjekt mener at det ikke fører til et mindre behov for å være ute på byggeplassen. Hun legger til at man ved bruk av løsningen selvfølgelig har mulighet til å svare ut noen kjappe ting digitalt og det er mulig å kommunisere mye tydeligere hvor avvikene befinner seg til rådgivere. Hennes erfaring er imidlertid at byggeplassledelsen likevel må være minst like mye ute på plassen.

Ett annet intervjuobjekt mener at det fører til mindre tilstedeværelse på byggeplass, særlig etter de investerte i en Matterport Pro 2 fotogrammetriskanner. Denne skanneren tilgjengeliggjør en fotomodell hvor det er mulig å utføre virtuelle befaringer. Intervjuobjektet nevner at Matterportløsningen er mer brukbar for å utføre virtuelle befaringer enn 3D laserskanning. Skannerutstyret er lettere og skanningen utføres raskere. Skannerresultatene gir også modeller med mindre filstørrelser som er enkle å orientere seg i.

Ett tredje intervjuobjekt mener 3D laserskanning absolutt kan føre til mindre behov for fysisk tilstedeværelse på byggeplassen. Eksempelvis så er det erfart flere tilfeller av at det kommer håndverkere inn på kontoret og etterspør mål eller har andre spørsmål om hvordan ting i visse områder ser ut, eller skal se ut. Da er det mulig å sjekke dette opp i modellene og utføre de målene som håndverkerne etterspør. 3D laserskanning gjør det mulig å dekke et stort område raskere enn ved fysiske befaringer på byggeplassen, ettersom man raskt kan bevege seg over store avstander eller mellom etasjer. Etterkontroll av avviksutbedring kan også ofte utføres digitalt. Ved en slik kontroll kan det være en fordel at man kan zoome seg inn på områder som kan være vanskelig å se tett på fysisk. Ett eksempel hvor dette kan være aktuelt er arbeider i himling.

4.1.9 Overordnet påvirkning på prosjektene

Bedre kvalitet

Alle intervjuobjektene mener KS med 3D laserskanning fører til en bedre kvalitet på prosjektene der det har blitt brukt. Det er imidlertid usikkerhet rundt i hvor stor grad kvaliteten er blitt bedre blant flere av intervjuobjektene. Ett av intervjuobjektene bemerker også at endringen i kvalitet i stor grad er avhengig av hvor mye de skanner.

Økt lønnsomhet

Blant flere intervjuobjekter har det vært en usikkerhet rundt lønnsomheten av 3D laserskanning. Et Intervjuobjekt med erfaring innenfor kvalitetsledelse nevner at de som entreprenør ikke har oversikt over hvor mye den tradisjonelle kvalitetssikring koster. Basert på at man ikke vet hva det normalt koster med KS blir det dermed også vanskelig å si noe om hvor mye man sparer ved å benytte 3D laserskanning. Ett av intervjuobjektene sier følgende om lønnsomheten til 3D laserskanning: «Har enda til gode å ikke finne avvik som gjør at det ikke er lønnsomt». Andre intervjuobjekter nevner at de håper 3D laserskanningen bidrar til økt lønnsomhet i prosjektene, men er usikker på det i dag. Ett intervjuobjekt med mye erfaring sier dette om lønnsomheten ved bruk av 3D laserskanner for KS:

Altså det er jo varierende selvfølgelig fra prosjekt til prosjekt om det er lønnsomt å kjøpe inn utstyr og å betale den summen vi gjør til Imerso for å bruke plattformen. Men med fordeler på alle prosjektene vi har, og når vi bruker det i det omfanget som vi gjør, så blir den totale kostnaden veldig liten i forhold til prosentandelen på prosjektet.

De med mest erfaring mener helt klart at 3D laserskanning er lønnsomt. Det virker imidlertid å være noe usikkerhet vedrørende lønnsomheten blant de intervjuobjektene som har arbeidet i kortest tid med verktøyet.

Færre forsinkelser

KS med 3D laserskanner kan ifølge intervjuobjektene føre til færre forsinkelser i prosjektene fordi eventuelle avvik, feil og kollisjoner blir oppdaget mye tidligere enn før. Dermed er det mulig å gjøre utbedringer eller omprosjekttere slik at det er klart for neste aktør på riktig tid. Det er viktig for totalentreprenør å forhindre forsinkelser fordi de koster enormt med penger. Alvorlige forsinkelser har ofte en dominoeffekt. I et byggeprosjekt er mye avhengig av hverandre. Derfor kan en liten forsinkelse fort ha en stor konsekvens dersom flere fag blir påvirket av avviket. Forsinkelser fører til kaos som videre igjen kan føre med seg nye forsinkelser. Ett intervjuobjekt beskriver en hendelse som typisk oppdages med 3D laserskanning slik: «Et klassisk eksempel er feilplassering av søyler hvor man finner ut at søylen er feilplassert før veggen er lukket. Det er da klart at det tar lengre tid å fikse dersom veggen hadde vært lukket.»

Samlet sett opplever intervjuobjektene det som vanskelig å måle konkret hvor mye mindre forsinkelser man får som en følge av 3D laserskanning for KS, og det er dermed også vanskelig å måle kostnadseffekten 3D skanning vil ha.

Økt sikkerhet

De aller fleste intervjuobjektene er usikre på om skanning har hatt påvirkning på sikkerheten i prosjektene i dag. Enkelte trekker imidlertid frem muligheten som er til stede ved bruk av 3D laserskanning. Ett intervjuobjekt sier følgende om laserskanningens påvirkning på sikkerhet:

Ja, altså det er jo litt med tanke på dokumentasjonsbiten. Vi fanger jo det øyeblikksbildet fra byggeplassen der det blir skannet. Vi har alle forskjellige syn på hva som er risiko og ikke.

Dersom vi får flere øyner på det som er på en byggeplass så kan jo noen personer avdekke et HMS avvik ved inspeksjon av analysen fra skann.

Fotoskanningsløsninger som den Matterport leverer trekkes frem som aktuell for sikkerhetsoppfølging på byggeplass. Eksempelvis så kan en HMS-leder bevege seg rundt i modellen og utføre virtuelle befaringer. Fordelen med en slik løsning er at man kan dekke store arealer i løpet av veldig kort tid sammenlignet med om man skulle gått fysisk. Skannresultatene kan også benyttes til å sjekke hvilke tiltak som er utført, og om det er tilstrekkelig med avsperringer og barrierer.

Ett intervjuobjekt trekker frem at det kan ha påvirkning på sikkerheten i fremtiden dersom programvaren kan klare å gjenkjenne manglende rekkverk, åpninger eller utsparinger som ikke er tildekket for så å gi en varslings til prosjektledelsen. Dette er imidlertid ikke implementert i dagens løsning.

Mindre konflikt

Den grundige dokumentasjonen som 3D laserskanning gir kan ifølge intervjuobjekter føre til færre konflikter i prosjektene, både mot UE og BH. Flere bemerker at det er viktig med involvering, tidlig informasjon og gode rutiner for hvordan dokumentasjonen fra 3D skanning skal brukes. Hvis det allikevel oppstår konflikter i prosjektene så vil disse, ifølge intervjuobjektene, som oftest løses veldig mye raskere dersom det er utført 3D laserskanning. Ett av intervjuobjektene beskriver at konflikter med UE tar mye tid for dem som TE, og at 3D laserskanning har hatt en virkning på å redusere dette: «Jeg har en klar tanke om at besparelse i tid, argumentasjon og diskusjon i mellom aktørene og oss fører med seg den største besparelsen.»

Enkelte mener imidlertid at det er en fin balanse, og at det dersom verktøyet ikke brukes på en god måte kan det gå begge veier med tanke på konflikter. Hvis dokumentasjonen blir brukt på feil måte kan det føre til en misnøye blant UE. Ett intervjuobjekt trekker frem et eksempel hvor de på prosjektet hadde en rutine for å gjennomgå de største avvikene fra laserskanningen på byggemøtene. På et byggemøte var flesteparten av avvikene tilknyttet samme UE. Dette førte til dårlig stemning siden den enkelte aktørs kvalitetsavvik ble tatt opp i felleskap. Et annet intervjuobjekt påpeker at det vil oppstå stor misnøye dersom verktøyet nyttes for å fullstendig overvåke UE med hensikt i å overføre mest mulig av deres egne kostnader ved forsinkelser over på dem. Han beskriver videre at det er viktig å finne en balanse som gjør at prosjektet som helhet går godt. Dette kan medføre at det for TE ikke lønner seg å stå hardt på sitt i alle konflikter med UE.

4.1.10 BIM

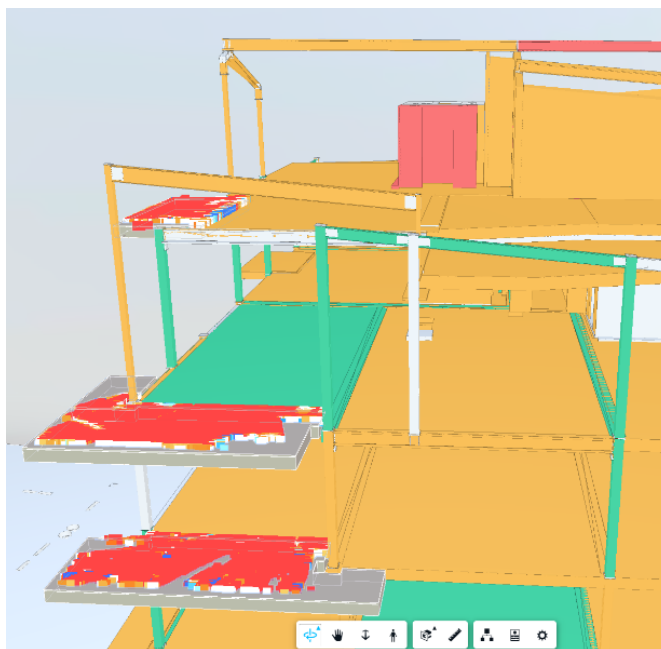
Alle prosjektene har støttet seg mot bedriftens egen BIM manual for å stille krav til BIM modellen. Disse kravene er ikke laget med hensyn til bruk for 3D laserskanning, men mange av kravene til detaljnivå og oppdeling av modeller er også svært relevante for at modellen skal fungere for sammenligning mot 3D skannet punktsky. Ett intervjuobjekt sier følgende om kravene som stilles til BIM modellene:

Ja, altså vi har vi har jo vår BIM manual som setter visse krav til kvalitet, MMI og den biten der, og vi er jo helt avhengige av en BIM modell for å kunne analysere punktskyer for KS. Så det stilles krav til det, men ikke noe spesifikt for bruk av 3D laserskanning.

De studerte prosjektene har benyttet seg av BIM som arbeidsgrunnlag der 2D tegninger er hentet ut fra 3D modellen og benyttes fysisk på byggeplassen. BIM modellen nyttes i dag for å ta mål og for å få bedre oversikt på byggeplassen. Samtidig hentes det som regel ut 2D tegninger av BIM modellen, der kun den nødvendige informasjonen er beskrevet for de utførende. BIM er en sentral del av 3D laserskanning for KS, og BIM er derfor avgjørende for å lykkes med bruken av verktøyet. Ett intervjuobjekt sier dette: «Hvis man ikke fokuserer på BIM så blir det egentlig ganske meningsløst å skanne. Si skanning av tekniske føringer for eksempel. Hvis de bare blir lagt litt her og der uansett, hva er hensikten da?».

BIM modellens kvalitet

Det er noe uenighet blant intervjuobjektene rundt hvorvidt dagens BIM modeller innehar tilstrekkelig kvalitet og egenskaper for å fungere optimalt i løsninger som Imerso og Scaled Robotics. Flere av de mest erfarne brukerne mener at modellenes kvalitet ikke fører med seg større problemer. Feilavvik som eventuelt oppstår, som følge av eksempelvis et forenklet detaljnivå, oppfattes som lette å oppdage. Det bemerkes imidlertid at det for eksempel ikke er hensiktsmessig å måle avvik i fall dersom helningen ikke er tegnet i modellen. Et slikt forenklet detaljnivå er vist i figur 4.4 hvor programmet registrerer feilavvik på balkongene. Andre intervjuobjekter har oppdaget utfordringer knyttet til at flere ulike elementer er tegnet opp som samme objekter i BIM modellen. Blant annet har stålsøyler vært tegnet opp med brannisolasjon, noe som gjør det vanskeligere å kontrollere plassering og loddavvik på stålsøylen. Ett intervjuobjekt mener også at en bedre oppdeling av modeller i forhold til fremdriftsplan og fag ville kunne være fordelaktig for å bedre kunne sammenligne modellen mot punktskyen.



Figur 4.4: Avvik på balkonghelning. (Utklipp fra prosjektside i Scaled Robotics).

Absolutte krav til BIM modell

Korrekt plassering av komponenter og en god oppdeling av modeller for de ulike fagene sees på som essensielt for å benytte seg av 3D laserskanning for KS. Blant intervjuobjektene er det noe uenighet knyttet til hvilke detaljkrav som må stilles til en BIM modell. Ett intervjuobjekt sier følgende:

Man har noen detaljnivåer man fortsatt er uenige om. Dette går typisk på ting som er skjult inne i vegger, elektriske røropplegg i vegg for eksempel. Har man noe effekt av å tegne det eller ikke? Dette kan slå ut på skann. Dette gjelder også andre ting som for eksempel armering.

Ett annet intervjuobjekt mener dagens BIM modeller er gode nok til å benyttes ved 3D laserskanning. «Det er absolutt tilstrekkelig med de krav vi har i dag. Jeg har analysert modeller med veldig varierende grad av kvalitet opp mot punktsky, og det fungerer for det meste OK.»

Lagring av modeller

I intervjuene blir det av ett intervjuobjekt nevnt en utfordring knyttet til lagring av modeller og punktskyer etter endt prosjekt, altså i reklamasjonstiden. Intervjuobjektet trekker frem at det er snakk om store filer som det ikke nødvendigvis er enkelt å flytte rundt på. Kostnaden av å ha tilgang til programvare i fem år etter endt prosjekt er også en bekymring for dette intervjuobjektet.

Ett annet intervjuobjekt har et annet syn på det med lagring i ettertid. De benytter seg av Imerso, hvor modellen blir lagret i deres tjeneste. Dermed vil det ikke ta noe som helst lagringsplass for TE. For oppbevaring av data etter endt prosjekt har intervjuobjektet inngått en avtale med Imerso. De betaler da en betydelig mindre sum enn det som er tilfellet ved bruk av analyseverktøyet i programmet.

4.1.11 Prosjektledelsens kompetanse

Prosjektledelsens digitale evner

Prosjektledelsens digitale evner oppfattes generelt som gode, men varierte. Det er en oppfatning blant flere at en del av de i prosjektledelsen som driver med produksjonsoppfølgingen har noe begrensede digitale evner, noe som tilsynelatende gjør terskelen til å ta i bruk 3D skanningsverktøyene høyere for dem. Intervjuobjektene, som alle kan beskrives å tilhøre den yngre generasjon, oppfatter derimot deres digitale evner som mer enn tilstrekkelig for å ta i bruk verktøyene. Ett intervjuobjekt sier følgende om de som arbeider med kvalitetsarbeid i produksjonen: «Det her er ikke BIM-koordinatorer, de KS ansvarlige jobber med produksjonsoppfølging, og det er ofte andre typer mennesker som jobber med den produksjons oppfølgingen. For at de skal ta i bruk verktøyet må det være enklest mulig.»

Oppfatning av programvarene

Generelt oppfatter intervjuobjektene dataprogrammene Imerso, Scaled Robotic og Matterport som lite kompliserte. De presiserer imidlertid at det krever en viss datakompetanse. For eksempel må man kunne manøvrere i 3D modeller. To av intervjuobjektene som relativt nylig har tatt i bruk verktøyene har erfart at

det kan dukke opp feilmeldinger eller uforutsette hendelser som kan komplisere bruken av programmene, og hvor det er en fordel med erfaring. Dette gjaldt eksempelvis for sammenstilling av punkttskyer og oppkobling mellom nettbrett og skanner. Ett av intervjuobjektene har erfart at alle de har lært opp til å utføre skanningen klarer dette, mens behandlingsdelen i Imerso er mer krevende. Intervjuobjektet sier følgende:

Fordi det er så mange som ikke kan bruke Imerso blir det også vanskelig å styre KS-skanning prosessen. Jeg tror dessverre behandlingen i Imerso er litt vanskelig for mange, men så vil man samtidig at de ansvarlige for de ulike fagene skal ta eierskap til det de har skannet. Det er tross alt dem som er best i stand til å finne avvikene.

Nødvendig opplæring

Alle intervjuobjektene som har jobbet med 3D laserskanning har gjennomført en viss form for kursing, enten internt i firma eller med eksterne fra produsenter som Scaled Robotics eller Imerso. Kursene har vart fra et par timer til to dager. Det er varierende hvor mye opplæring intervjuobjektene anser som nødvendig. To av intervjuobjektene trekker frem det de mener er «et generasjonsskille» i byggebransjen som avgjørende for hvor mye opplæring som behøves. Begge anser imidlertid at en viss form for opplæring er nødvendig for å finne de beste løsningene tidlig og for å oppnå en beste praksis.

Ett intervjuobjekt sier følgende om opplæringsbehovet: «Hvor mye opplæring som er nødvendig, det syns jeg er skikkelig vanskelig å svare på. Vår generasjon er vokst opp med dataspill. Det tekniske jeg ikke kan, altså det finner jeg jo bare ut av da ikke sant. Trykker meg fram og prøver å finne ut av problemene selv.»

Matterport sin fotogrammetriløsning oppfattes derimot som enklere å bruke. Ett intervjuobjekt sier følgende om opplæringen ved løsningen: «Vi så et par videoer på Youtube, mest prøving og feiling. Ganske lite feiling egentlig. Det holder med at en person jobber med å skanne. Det er mest å plassere skanneren, for deretter å trykke på en knapp.»

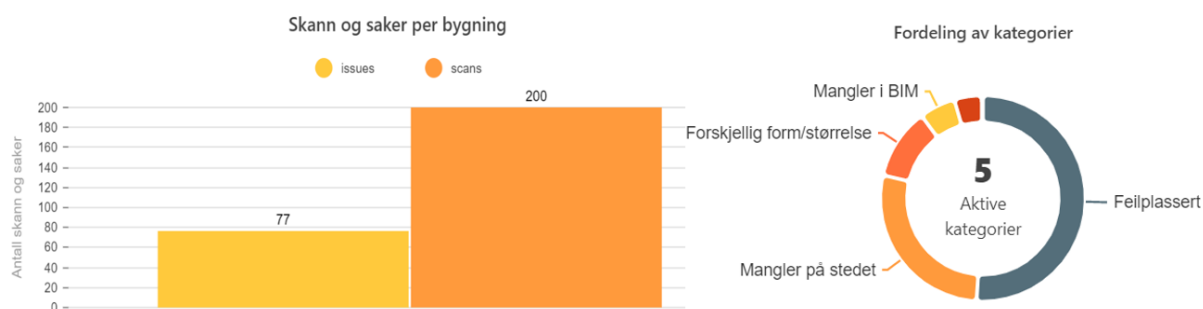
Datautstyr og internettkvalitet

Intervjuobjektene har oppdaget lite problemer tilknyttet internettkvalitet og datautstyr de har på prosjektkontorene opp mot laserskanning og prosessering. Den begrensende faktoren er beskrevet som datamaskinen som nyttes for prosessering. De fleste maskinene som nyttes på prosjektene i dag er imidlertid relativt kraftige og fungerer bra. En utfordring som er oppdaget med avvikshåndtering i Imerso er at det for mange har vært utfordringer rundt hvorvidt optimale innstillinger har blitt benyttet som standard. Dette gjelder blant annet at en ofte selv må aktivere grafikkortet manuelt for å kjøre på nettleser. Dette får imidlertid mange ikke med seg. En annen ulempe er at en del av verktøyene fortsatt er knyttet opp mot enkelte merker og plattformer. Eksempelvis fungerer Imerso plattformen på nåværende tidspunkt ikke mot Apples Ipad, men krever en annen tablet. Dette har ført til at flere nå har ulike tableter for skanning og for annet arbeid.

4.1.12 Prosesser og planverk

Plan for systematisk KS

Alle firmaene benytter seg av et KS system i konsernet i tillegg til en prosjektspesifikk KS plan. Alle prosjektene bruker i hovedsak Dalux til kommunikasjon av avvik opp mot UEer, mens mail og diverse andre metoder stort sett blir benyttet mot de prosjekterende. Et av prosjektene bruker også Imero for å registrere avvik fra laserskannene. Ved å bruke Imero til å registrere skanningen får man ut en rekke statistikk som kan nyttes for å styre og overvåke skanningsresultatene. Figur 4.5 viser eksempler på to av flere diagrammer som kan hentes ut fra plattformen.



Figur 4.5: Statistikk fra Imero plattformen. (Utklipp fra prosjektside i Imero).

Ingen av intervjuobjektene prosjekter hadde inkludert 3D skanning som en del av KS systemet på konsernnivå, mens enkelte av intervjuobjektene hadde det med i den prosjektspesifikke KS planen. Den prosjektspesifikke KS planen inkluderer her at man har et oppstartsmøte med prosjektledelsen hvor det vurderes når det er mest kritisk å skanne i forhold til faser og fremdriftsplan.

Flere av intervjuobjektene uttrykker at de fortsatt befinner seg i en utprøvningsfase der de enda ikke har landet helt på hvordan de ønsker å bruke verktøyene. Dette på tross av at verktøyene nå har vært i bruk AFs og Betonmasts prosjekter i rundt to år.

Planlegging av skanning

Det har i liten grad blitt benyttet planer for hvor og når det skal skannes. Intervjuobjektene hadde også ulike tilnærminger til skanningen. Enkelte tok stikkprøver av mindre områder, mens andre tok hele bygninger, enkelte fag eller faser. Det varierer også hvor ofte intervjuobjektene utfører skanningene. Flertallet av intervjuobjektene ser en verdi i å planlegge i større grad. Et par av intervjuobjektene ønsker at det i prosjektene skal tidfestes når det skal utføres skann i forhold til hvilke arbeid som skal kontrolleres, slik at avvikene oppdages så tidlig som mulig. Andre ser en verdi i å diskutere med UE for å finne ut av hvilke arbeider de anser som mest kritisk, for så å skanne disse.

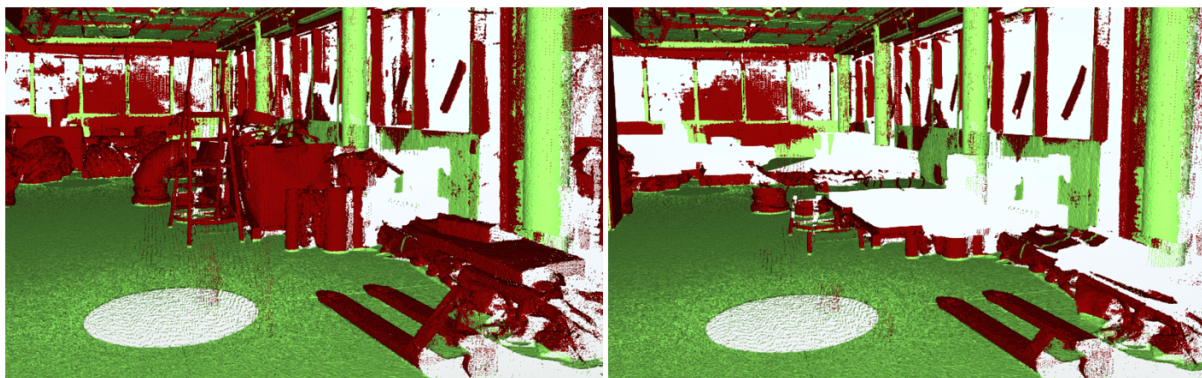
Plassering av skanningsoppstillinger blir ifølge intervjuobjektene gjort på bakgrunn av hva de selv oppfatter som mest hensiktsmessig der og da. For å få best mulig datafangst har ett intervjuobjekt etablert en regel om at det ikke skal være mer enn 10 meter mellom hver oppstilling med skanneren. Dette er imidlertid ikke alltid mulig å forholde seg til ettersom det er ofte er mange trange ganger eller

mye vinkler og slik. Da vil det ofte være nødvendig med flere oppstillinger for å et bra skannresultat.

Ryddighets påvirkning

Alle intervjuobjektene prosjekter følger Rent, Tørt Bygg systemet, og forsøker å opprettholde en kontinuerlig høy grad av ryddighet. Alle forsøker også å ha et visst nivå av ryddighet før skanning.

Ryddigheten på byggeplassen kan påvirke resultatet av skanningen i form av skygger og sikt. Flere intervjuobjekter bemerker at det for eksempel ikke er smart å skanne når man river forskalingen. Da er det heller hensiktsmessig å vente til forskaling og arbeidere er ferdige. De fleste intervjuobjektene mener allikevel at det stort sett går greit på deres byggeplasser, og at det som regel er lett å skille støy ut fra skannen. Både Imerso og Scaled Robotics har løsninger for å unngå noe støy fra gjenstander som ikke tilhører byggverket. I Imerso kan det settes en maks toleranseterskel på avstand mellom punktsky og modell. På denne måten vil punkter som viker mye fra BIM modellen utelates. Scaled Robotics har også en AI som kan fjerne diverse gjenstander. Selv om gjenstandene blir fjernet vil det fortsatt oppstå et område bak gjenstandene som vil havne i skyggen og dermed ikke bli skannet. Figur 4.6 viser et utklipp fra Imerso hvor man ser hvordan personer og gjenstander kan skape støy i skannen. Man ser også at det er en skygge i punktskyen der selve skanneren har vært plassert. Ved å benytte seg av terskelfunksjonen i Imerso er støy utenfor den gitte terskelavstanden fjernet.



Figur 4.6: Eksempel på støy i skann, og hvordan støy kan fjernes med Imersos terskelfunksjon. (Utklipp fra prosjektside i Imerso).

Ett intervjuobjekt med mye erfaring sier følgende om hvordan ryddighet har en påvirkning på skanning:

Er det masse søppel og ting i veien er det nesten ingen vits i å skanne, men så er det klart at noe rot går greit. Ettersom det trengs en viss ryddighet, er det fint å lage en timeplan eller å følge en taktplan, slik at vi tar rommene mellom taktene når det er minst rot og mennesker der.

4.1.13 Involvering av UE

UEs tilbakemeldinger

Intervjuobjektene opplyser om at UEene i utgangspunktet har lite kunnskap om 3D laserskanning for KS, og at ingen av UEene benytter verktøyet selv. Mange av UEene er imidlertid nysgjerrige til skanning når TE benytter seg av verktøyet på prosjektet.

Intervjuobjektene opplevde blandede tilbakemeldinger fra UE da de tok i bruk laserskanning for KS. Laserskanningen kan oppfattes som overvåkende, pirkete og unødvendig mas for UEene. Flere av intervjuobjektene ser også en utfordring ved at man med skanner kan gi et inntrykk av at en som TE overtar ansvar for egenkontrollen til UE. På den andre siden kan også TEs bruk av skanning oppfattes som bra, gi de bedre forståelse og mindre merarbeid for UE. To av intervjuobjektene påpeker at en god kommunikasjon med UEene er viktig for at de skal se verdien av verktøyet.

Involveringspraksis

Det vises til at det er to ulike fremgangsmåter. Enten å gå i dialog og samarbeide med UE eller å utføre skanning som stikkprøvekontroller uten å involvere UE.

Involvering av UE er av flere intervjuobjekter forsøkt ved å spørre om UE har spesielle operasjoner de er spesielt usikre på, som er spesielt kritiske, eller som de av andre grunner ønsker å sjekke. En oppdaget fordel et av intervjuobjektene opplevde er at UEene som ble involvert så nytten av verktøyet, og dermed ble mer positiv til skanningen. En utfordring som blir nevnt med involvering av UE er at man da i praksis utfører en jobb som intervjuobjektene mener egentlig går under UEs ansvar for egenkontroll. Dermed sees ikke utgifter og tid som påløpes for dette som totalentreprenørens ansvar. For å løse dette problemet foreslår flere av intervjuobjektene at en kan finne løsninger for hvordan en kan dele denne regningen med UEene, noe som blir nærmere omtalt i delkapittel 4.1.15.

Den andre muligheten er å gjennomføre skanninger mer i skjul, og holde tilbake informasjon for å få et overtak i sluttoppgjør og konflikter, samt som et generelt styringsverktøy for å følge opp UE underveis.

UEs digitale kompetanse

Intervjuobjektene erfaringer tilsier at det er veldig ulik kompetanse blant de forskjellige UEene. Mange håndverkere og baser benytter seg i dag av mobil eller nettbrett for å følge opp produksjon og kvalitet på byggeplassen. Dalux er et verktøy som de fleste UEene har erfaring med fra tidligere prosjekter, og det fungerer dermed stort sett bra for kommunikasjon mellom prosjektledelse og produksjon. På tross av at flere og flere har tatt i bruk digitale verktøy ser intervjuobjektene et behov for å holde kommunikasjonen og bruken på ett relativt enkelt nivå. Intervjuobjektene ser ikke behov for at UE får mer data enn skjermbilder med piler, sirkler og lignende fra 3D skanningen. For å formidle bildene, og knytte det til en posisjon i bygget, blir som regel Dalux benyttet. Ellers bruker også flere av intervjuobjektene programmer for å visualisere eksisterende situasjon på byggeplassen i fremdriftsmøter ved hjelp av storskjerm.

Påvirkning på UEs egenkontroll

Bruk av 3D laserskanning for KS kan ifølge intervjuobjektene erfaringer både ha en positiv og en negativ påvirkning på UEs egenkontroll. Flere UEer har i dag lite kunnskap om detaljgraden av 3D laserskanning for KS. Når UEer blir klar over hvor mye en kan se ved bruk av 3D skanning har flere opplevd at UEene har forbedret sitt eget arbeid, og levert mindre avvik. Intervjuobjektene mener reduksjonen i avvik også oppstår som følge av deres kvalitetsstyring, slik som forklart i delkapittel 4.1.8.

På den andre siden har også enkelte av intervjuobjektene erfart at noen av UEene sin egenkontroll har blitt dårligere etter verktøyet ble tatt i bruk. Disse intervjuobjektene har uttalt at det oppsto en misoppfattelse der UEene følte at totalentreprenør overtok store deler av KS ansvaret ettersom de kontrollerte alt og dermed fikk med seg det meste med skanneren uansett.

De fleste av intervjuobjektene ser utfordringer rundt grensesnittet mellom deres KS som totalentreprenør og UEenes egenkontroll. Ettersom ansvaret for egenkontroll og kvalitet i hovedsak ligger på UEene mener mange at det er lett for at man med bruk av skanning for KS tar på seg for mye av dette ansvaret. Dette innebærer også at flere av intervjuobjektene mener at kostnaden for KS med skanning i større grad burde ligge på UE, der de i dag som totalentreprenør tar denne regningen selv.

4.1.14 Bygningstyper, faser og materialer

Det er en stor enighet blant intervjuobjektene rundt hvorvidt 3D laserskanning fungerer bedre på noen typer områder og elementer enn andre. De avgjørende faktorer er her som regel hvor stor den frie sikten for skanneren er. Dersom det er liten sikt kreves det mange flere oppstillinger for å gi god dekning og detaljnivå. For at skanning skal lønne seg er det også sentralt at avvikene som finnes er av en viss betydning, og har en økonomisk eller praktisk konsekvens.

Bygningstyper

Flere av intervjuobjektene peker på at effektiviteten, og dermed også lønnsomheten, av skanningen ofte varierer basert på hvilke typer bygg som skannes. Bygg med store åpne områder, som lagre, produksjonshaller eller parkeringskjellere, krever færre skanningsoppstillinger og kan dermed skannes raskere. Man får også flere overlappende punktskyer, noe som fører til en svært god kvalitet på skannen. På den andre siden har man boligtyper som hotell, studentboliger, eller andre bygg med mange små rom og trange ganger. Disse byggene vil kreve en vesentlig større mengde skanningsoppstillinger hvor færre av skanningsoppstillingene vil være overlappende. Dette fører til at denne type bygg blir tidkrevende å skanne.

Faser

På samme måte som at ulike boligtyper gir ulik sikt for hver skanneroppstilling pekes det også på at sikten i de ulike fasene varierer. I en råbyggfase vil områdene som regel være åpnere enn i en slutfase, hvor innervegger og andre elementer kan føre til skanningskygger. På ulike tidspunkt av fasene kan det også være utfordrende å gjennomføre skanning. Eksempelvis vil det være vanskelig å utføre skanning av betong mens forskalingen fortsatt er på ettersom denne dekker det ferdige arbeidet.

I de ulike fasene finnes det også ulike typer avvik, som ofte har ulik tid- og kostnadskonsekvens. Eksempelvis har feil ved ferdige overflater og plasseringer av stikkontakter og lignende ofte en lavere konsekvens ved avvik fra modell. Det er derfor av flere intervjuobjekter vurdert som ulønnsomt eller unødvendig å skanne dette. Det pekes også på at konsekvensen av byggfeil også kan være avhengig av tidspunktet i byggeprosessen. Desto tidligere i byggeprosessen et avvik oppstår, desto flere fag har det potensial til å påvirke eller forsinke. Avvik på maling av innervegger kan trekkes frem som et eksempel som har svært liten konsekvens for andre fag enn maleren. På den andre siden kan en feilplassert vegg føre til at alle andre fag som skal utføre arbeidet i og rundt veggen blir satt på vent.

Flere intervjuobjekter peker spesielt på råbyggfasen som mest lønnsom å skanne, før faser som inkluderer tekniske føringer som rør, ventilasjon og større elektroføringer. I motsatt ende mener flere at innomhusfasen er mindre lønnsom. I innomhusfasen er det færre intervjuobjekter som skanner med 3D laserskanner. Flere benytter seg imidlertid av fotogrammetri- og 360 fotoløsninger i denne fasen, som er raskere og rimeligere alternativer.

Materialer

Flere materialtyper beskrives som utfordrende eller umulig å skanne av intervjuobjektene. Dette gjelder spesielt reflekterende, blanke, samt matte mørke overflater. Dette fører til at glass, speil, blanke rør og vann på dekker kan gi utfordringer. Det påpekes imidlertid at det er lett å gjenkjenne støyen som oppstår i punktskyen på bakgrunn av materialegenskaper.

4.1.15 Rammefaktorer

Bakgrunn for bruk

Halvparten av intervjuobjektene opplyser om at de har tatt i bruk 3D laserskanning på bakgrunn av at bedriften ønsker å teste ut teknologien og samtidig være med å utvikle den. Resterende halvpart opplyser om at de bruker verktøyet på eget initiativ ettersom de ser verktøyets verdipotensial. Flere mener også at det ser bra ut for bedriften å drive med innovasjon og at de større aktørene har et ansvar for å drive bransjen fremover ved å ta i bruk ny teknologi. Mange ser også et stort potensial i at 3D laserskanning for KS vil utvikles til å bli et enda viktigere verktøy i fremtiden.

Ved å bruke skanning vil man gå ut over de kravene som standarder og lovverk setter til KS og sluttdokumentasjon. For å tilfredsstille dagens krav er det tilstrekkelig at en person utfører KS-arbeid med sjekklister på papir. Per i dag er det ikke myndighetskrav eller andre krav som sier noe om generelle retningslinjer vedrørende 3D laserskanning for KS.

Entrepriseform

De fleste intervjuobjektene har arbeidet i prosjekter som har vært totalentrepriser. Mange av firmaene opererer kun med prosjektledelse, og har dermed ikke egenproduksjon på betong, tømmer eller andre fag. Unntaket er AF bygg Oslo som har betongproduksjon på noen prosjekter. Det pekes her på at man ved egenproduksjon kan løse utfordringer tilknyttet kostnadsfordeling av utgifter for KS med skanner ettersom

det er samme bedrift som tar utgiften ved KS uansett om det er produksjonen eller prosjektledelsen som utfører den.

Involveringstidspunktet til TE i prosjektene har ikke vært avgjørende for valget av å bruke 3D laserskanning for KS i intervjuobjektene prosjekter. Tidlig involvering sees imidlertid på av flere av intervjuobjektene som viktig for å få 3D laserskanning til å fungere optimalt med tanke på informasjon og kontraktbetingelser mot BH og UE.

Kontraktstrategi spiller en viktig rolle ved bruk av 3D laserskanning for KS ettersom mange intervjuobjekt peker på kostnadsfordeling som en sentral utfordring. Ett intervjuobjekt trekker inn at det er en fordel for implementeringen av 3D laserskanning for KS dersom gevinsten og kostnaden blir delt mellom flere aktører. På denne måten får flere aktører insentiver til å benytte seg av verktøyet. Det samme intervjuobjektet peker på at kontraktsformer som vektlegger samspill kan være en løsning på utfordring med kostnadsfordeling.

Kontraktbestemmelser mot UE

To av intervjuobjektene har hatt en intern diskusjon rundt hvorvidt det er mulig å pålegge UE å bruke skanning. I kontraktene har TE anledning til å fastsette at resultatene fra sluttdokumentasjonen til UE skal være en skanning. Imidlertid så har en ikke lov til å pålegge de å bruke skanningstjenester fra TE på grunn av gjeldende lover og regler. Siden TE ikke har lov til å bestemme hvem UE skal benytte til skanning blir det for TE vanskelig å få utnyttet sin skanningskompetanse. En alternativ løsning er ifølge intervjuobjektet å tilby tjenesten som en opsjon i kontraktbestemmelsene, noe som fører til at UE har en valgmulighet. Ett av intervjuobjektene som var med i diskusjonen knyttet til kostnadsfordeling ved 3D laserskanning for KS forteller følgende:

Ja, det beste vil jo være å få med skanning i en startfase, og som en innledning i forhandling med den enkelte UE, hvor du da kan argumenterer for hvorfor du mener det er riktig å gjøre det. I forhandlingene kan en argumentere for at man kanskje kan dele på regningen, fordi kostnaden av skanningen kan jo ikke bare gå til en aktør. Den bør fordeles på flere aktører. Hvis du har med deg tre aktører så kan alle dele på 25 % hver. Da blir kostnaden veldig liten og det kan være lettere å overtale den enkelte til å bli med.

Ett av intervjuobjektene opplyser også om en annen mulighet for å fordele kostnadene med skanning, som han mener er mulig å gjennomføre med dagens lover og kontraktbestemmelser. Denne muligheten går ut på at kostnadene for skanning kan overføres til UE dersom UEs egenkontroll ikke oppfattes som god nok fordi en viss mengde feil oppdages av UE med skanning for KS. Dersom man opplyser om dette tidlig, setter klare grenser på forhånd eller tar dette med i kontrakten med UE kan dette også virke som et kvalitetsinsentiv for UE.

Byggherre

Generelt har intervjuobjektene opplevd gode tilbakemeldinger fra BH på bruken av skanning i prosjektene. BH har imidlertid ikke oppfordret til bruk eller i særlig grad benyttet seg av mulighetene verktøyet potensielt kan tilføre for dem i de studerte prosjektene. Et unntak er et av de studerte

prosjektene. I det ene prosjektet var BH svært interessert i at prosjektet skulle ha en digital tvilling. 3D laserskanning ble dermed et verktøy som ble brukt i arbeidet med utvikling av den digitale tvillingen. Ett av intervjuobjektene peker på at det hadde vært en stor fordel dersom BH hadde sett nytten av, og bidratt til bruken av 3D laserskanning for KS i større grad. Ett annet intervjuobjektene påpeker at bruken av 3D laserskanning kan ha en positiv virkning med tanke på BHs valg av entreprenør i anbudsfasen.

4.1.16 Datafangst

Tiden det brukes på å skanne kan sees på som en av de største utfordringene med 3D laserskanning for KS i dag. Ett intervjuobjekt oppsummerer det slik:

Det oppleves som tidkrevende dersom du vil ha et stort omfang. Hvis man eksempelvis vil ha oversikt i forhold til fremdrift og status og ta mye på en gang oppfatter jeg det som veldig tidkrevende, men skal du inn og ta et man er mye mer målrettet rom med 4 skannerpunkter så er det veldig effektivt. På grunn av at det tar 5-10 minutter på en oppstilling og du må ta en ny oppstilling hver 10ende meter. Ja, dersom man skal skanne et stort bygg da, kanskje 14.000 m², så blir det ganske mange skanninger. Da tar gjerne en etasje 4-5 timer hvis man skal ta hele. Man må heller tilpasse prosessen tror jeg.

Enkelte mener det mest hensiktsmessige er å skanne mindre områder om gangen. Altså at man bruker verktøyet mer målrettet og stiller seg spørsmål om hva man ser etter ved skann, hva som er bygget i det siste, og hva man egentlig lurer på. Hvis man har en slik tilnærming til laserskanning bruker man også mindre tid på å sjekke gjennom avvikene når man får resultatene.

Som en følge av at laserskanning er tidkrevende er det flere av intervjuobjektene som benytter seg av 360 foto i tillegg til skann. 360 foto oppleves som mindre tidkrevende og er derfor bedre egnet dersom det skal tas hyppige statusoppdatering på byggeplassen. Med 360 foto får man imidlertid ikke den samme nytten som ved laserskanning da det ikke er mulig å kjøre avviksanalyse ved en slik løsning.

Når det skannes kan det være nødvendig å stille på innstillingene til skanneren. Nødvendigheten av å endre skannerinnstillingene avhenger ifølge intervjuobjektene av hva som skannes. Dersom det skannes på et veldig stort betongprosjekt kan man eksempelvis stille punktdensiteten ned, men dersom det skannes på et område hvor det kreves høy detaljgrad må gjerne punktdensiteten stilles opp. Å stille inn skanneren til ønsket innstilling er lite tidkrevende. Dette er noe som blir gjort basert på egenvurderinger underveis når man skanner. Ett intervjuobjekt med mye erfaring med skanning sier at han ikke opplever at det er noen utfordringer med å stille inn skanneren. Samme intervjuobjekt mener at man med erfaring blir bedre å skanne. Selve skanningen foregår ved å sette opp utstyret for så å trykke på en knapp. Denne prosessen gjentas til man har tilstrekkelig med skannepunkter.

4.1.17 Prosesseringstid

Det oppleves noen utfordringer knyttet til prosesseringstid. Prosesseringstiden for verktøyet er avhengig av leverandør, hva som skannes, hvor mye som skannes og maskinkraft. Lang prosesseringstid er en utfordring fordi det er kritisk å få kommunisert ut avvikene hurtig slik at de når ut før neste arbeid på byggeplassen igangsettes

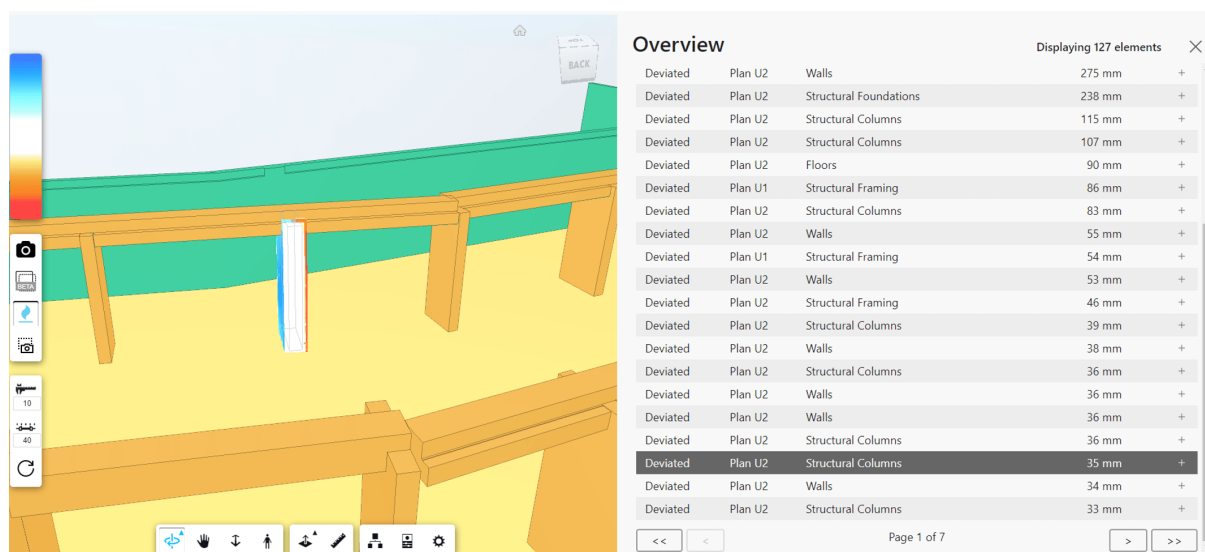
Intervjuobjektene som har benyttet seg av løsningen til Imerso erfarer at man får resultatene fra avviksbehandlingen hvertfall i løpet av dagen det skannes. Ofte tar det kun rundt en time å få resultatene. Ett av intervjuobjektene trekker frem at hun synes løsningen tar litt lang tid og at den noen ganger bare plutselig feiler uten at hun helt forstår hvorfor.

Løsningen til Scaled Robotics baserer seg på at man sender inn skannedata til leverandøren digitalt, for så at det blir gjort en avviksanalyse. På denne måten skjer behandlinger mer automatisk for TE, men man må imidlertid belage seg på en prosesseringstid på 1-2 dager. Dette oppleves av flere som for lang ventetid.

4.1.18 Avviksdeteksjon

Det er ulike metoder for å søke etter avvik i Scaled Robotics og Imerso. Generelt sett er det ikke så tidkrevende å søke etter avvik, men det krever noe erfaring og kompetanse. Eksempelvis så kan det dukke opp en del «falske avvik», som kan beskrives som avvik uten praktisk betydning. Disse kan det kreve noe erfaring for å luke ut.

I Scaled Robotics plattformen er prosessen til en viss grad automatisk. Programvaren lager en liste med de største avvikene fra punktsky mot BIM modell. Deretter er det opp til entreprenøren å vurdere hvilke avvik som krever utbedring. Resultatene blir presentert i en liste slik som vist i figur 4.7. Normal prosedyre er da å arbeide seg nedover listen før man eksempelvis ser bort i fra alle avvik som er mindre enn 20 millimeter.



Figur 4.7: Avvikssøk i Scaled Robotics. (Utklipp fra prosjektsside i Scaled Robotics).

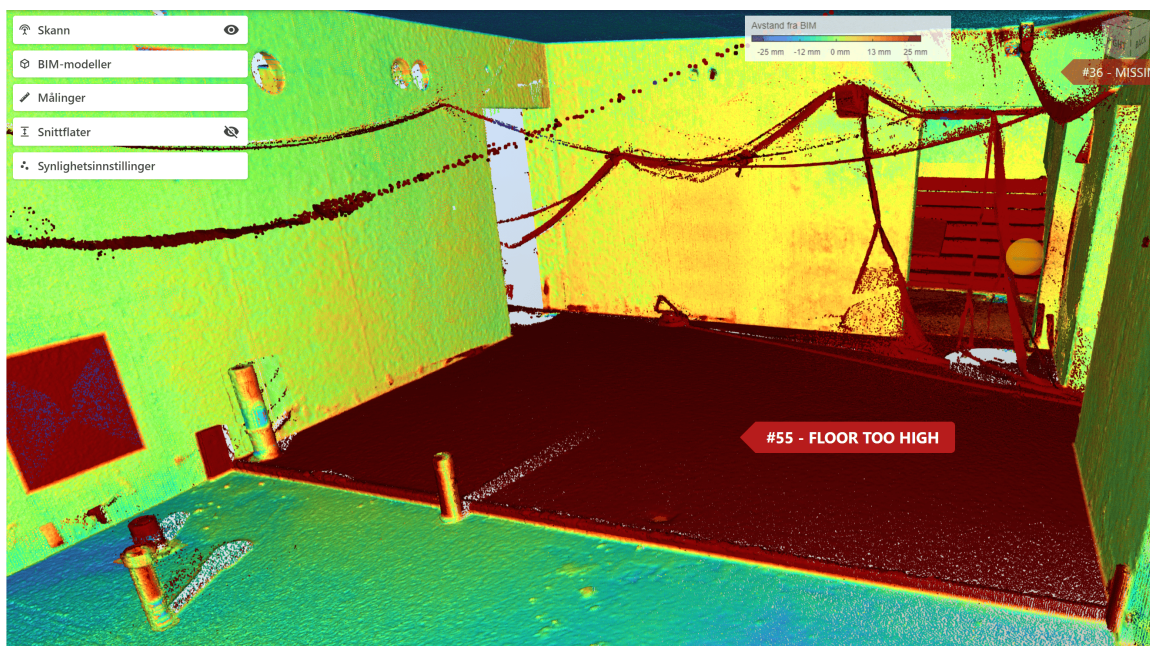
I Imerso kjører man en slik avviksanalyse selv. Skannresultatene fremvises ved bruk av terskelvisning eller varmekart som viser hvilke objekter som avviker fra BIM modellen. Generell fremgangsmåte er å først gjøre en gjennomgang av grove toleranser og dersom man finner noe på skannen som lyser rødt går man grundigere gjennom for å finne antall millimeter feil. En automatisk avviksfunksjon er også lansert i Imersoprogramvaren, men foreløpig kun i en Beta versjon. Det er da en AI som finner og foreslår avvikene tilsvarende løsningen i Scaled Robotics. Ett intervjuobjekt trekker frem at en slik automatisk prosess kan være veldig nyttig og redusere tiden som brukes på avviksdeteksjon.

Toleranseklasser

Begge programmene baserer seg på at man setter toleransene for avvik selv. Toleransene blir også nytt til å utelukke områder som ikke er bygningsdeler ved at grove avvik fra BIM modellen utelukkes. Funksjonen bidrar til mindre støy i resultatene. Disse grove avvikene er ifølge ett intervjuobjekt imidlertid ofte lette å oppdage uansett. Flere av intervjuobjektene peker på at en integrasjon av toleranseklassene fra Norsk Standard mot dagens toleranseverktøy kunne vært en veldig nyttig funksjon. Det legges vekt på at en slik løsning vil være med på å senke brukerterskelen for programmet ytterligere ved at prosesser blir mer automatiske.

Falske avvik

Det oppleves også at en stor prosentandel av avvikene som avdekkes av programvaren er innenfor de toleransene som kreves på bygningskomponenter. For disse avvikene er det ikke nødvendig med endring eller utbedringer. I programvarene som benyttes er det enkelt se de avvikene som skriker ut. Figur 4.8 illustrer varmekartfunksjonen som er tilgjengelig i Imersoplattformen. Her vises det tydelig hvilke bygningskomponenter som ikke samsvarer med BIM modellen, markert med mørk rød farge.



Figur 4.8: Varmekartfunksjon i Imerso. (Utklipp fra prosjektside i Imerso).

Av de med mye erfaring oppleves ikke avvik som ikke har noen praktisk betydning å påvirke prosessen i særlig grad. De mindre erfarne har imidlertid større usikkerhet rundt hvor de skal sette grensene, og hvilke mindre avvik som kan tolereres. Ett intervjuobjekt trekker frem at dersom man har en praktisk tilnærming til det som er gjort ute på byggeplassen så er det mulig å eliminere det meste av avvikene uten praktisk betydning, og dermed anses det som et mindre problem som raskt kan fikses.

Det er blant enkelte av intervjuobjektene registrert at brukerfeil kan føre til feil resultat fra skann. Ett intervjuobjekt gir et eksempel på en slik brukerfeil:

Støv på linsen til laserskanneren er en feil som kan skje, ettersom skanningen tross alt foregår på en byggeplass. Ved støv på linsen vil det oppstå en bue i punktskyen. Dersom man har skannet ved en søyle vil en da kunne se at den bøyer seg. Så om man ikke tenker over det kan det se ut som et avvik, mens det i virkeligheten kun er en hardware begrensing.

Flere intervjuobjekt trekker frem at det er mange av de automatisk identifisert avvikene i programplattformene som ikke er avvik. Ser man på resultatene fra skann som er vist i figur 4.7 så er det ikke 127 av avvikene som det faktisk må gjøres noe med. Et annet eksempel på at det oppdages flere avvik som ikke har praktisk betydning forklares av ett intervjuobjekt på følgende måte.

Det kan jo være en utsparring som er plassert feil i forhold til det prosjekterte. Det er jo klart at når utsparringen er feilplassert, så er det en viss fare for at det er rør som skal gjennom som også er feilprosjektert.

Programvaren vil dermed regne hvert element som ikke er i henhold til den prosjekterte posisjonen som ett avvik. I store bygg med mange slike tverrfaglige situasjoner får man dermed et kunstig stort antall avvik i programvaren.

4.1.19 Opprettelse av avviksmeldinger

På spørsmål om det er tidkrevende å opprette avviksmeldinger blir det nevnt at dette avhenger av valgt fremgangsmåte. Å opprette avviksmeldinger oppleves ikke som tidkrevende dersom de kun opprettes i Scaled Robotics eller Imerso. Skal man derimot flytte det til et annet verktøy, som for eksempel Dalux, blir det i dag dobbelført. Dette oppfattes som unødvendig merarbeid. Det oppleves som manuelt og noe tidkrevende å drive å føre avvikene på tvers av programmene. Ved en stor mengde avvik blir det mye repeterende arbeid, noe som igjen betyr at det kan ta mye unødvendig tid.

Resultatene viser at interoperabilitet oppleves som et problem og at det burde være bedre samhandling med andre programmer som Dalux, Solibri og Revit. Mengden av tilgjengelige programmer skaper et problem ved at de prosjekterende og utførende stadig må sette seg inn i nye programmer. Mangfoldet av programvarer kan være en av årsakene til at Imersoplattformen ikke blir benyttet i større grad til føring av avvik. På grunn av at entreprenøren har Dalux som sitt hovedverktøy for håndtering av avvik ses det på som unødvendig å dobbelføre dette i Imerso.

4.1.20 Nøyaktighet av skannresultater

Intervjuobjektene mener at 3D laserskanning gir nøyaktige nok resultater. Ett intervjuobjekt som har benyttet seg av 3D laserskanning til å sjekke plassering av massiv-trelementer hadde følgende å si om nøyaktigheten av resultatene.

Vi tar ikke den dataen direkte på millimeteren ut ifra Imerso. Vi bruker det som en indikasjon på at her er det noe. Her må det sjekkes og dokumenteres at det er innenfor toleransene. Det gir oss en mye hurtigere måte å ta en KS på alle overflater.

Med tanke på at flere av intervjuobjektene bruker 3D laserskanningen til å finne antydninger til avvik oppleves det lite problemer med nøyaktigheten. Avvikene som blir funnet ved skanning blir som regel bekreftet ved bruk av tradisjonelle metoder av UEene.

4.1.21 Kostnad- og nyttevurdering

Investeringskostnaden ved laserskanning oppfattes av flere som høy. Prisen for en tilstrekkelig laserskanner ligger på rundt 200 000, og månedspris for programvare rundt 20 000. I tillegg inngår også kostnad for personell for å utføre skanning og gjennomgang av resultater. Nyttens av verktøyet må rettferdiggjøre denne kostnaden for å være lønnsomt.

De fleste av intervjuobjektene mener imidlertid kostnaden kan forsvares. Slik det er i dag så deles ofte kostnadene av skanning mellom prosjektene i bedriftene. Deling av skannerkostnadene oppleves av alle som en fornuftig måte å redusere det enkelte prosjekts kostnad på. Nyttens man får ut av verktøyet avhenger i stor grad av hvor mye det blir brukt, hvilke type prosjekter det er og hvilke avvik som finnes. Et viktig punkt for å maksimere nyttens for bruk av 3D laserskanning er at man må prioritere bruken slik at man fokuserer på å finne de avvikene som man faktisk sparer penger på.

Ett intervjuobjekt forklarer sitt syn på kostnad-nytte spørsmålet slik:

Til å begynne med så opplevdes det som veldig dyrt for en tjeneste som man ikke nødvendigvis ser behovet for umiddelbart, men når man begynner å avdekke avvik som ville ha kostet mye samtidig som det ville skapt mye hodebry. Da oppleves det ikke så dyrt lenger, og det går greit å betale litt for det på en måte.

Ett annet intervjuobjekt forklarer at nyttens av verktøyet helt klart er større enn kostnaden. For deres del tok det kun noen måneder før kostnaden av verktøyet spart inn. Han argumenterer for at så lenge det blir skannet nok så er ikke kostnaden et problem.

På den andre siden opplevde ett annet intervjuobjekt at skanneren ble brukt for lite til at prosjektet kunne spare inn kostnaden av verktøyet. På dette prosjektet ble ikke skannerkostnaden fakturert prosjektet på grunn av at det var bedriften som investerte i skanneren. I fremtidige prosjekter må denne kostnaden bæres av det enkelte prosjektet, og da må skanneren brukes mye mer dersom kostnaden skal rettferdiggjøres.

4.1.22 Oppsummerende funn fra intervjuer

Største verdi ved 3D laserskanning for KS

De fleste intervjuobjektene trekker frem at den største verdien ved 3D laserskanning for KS er tryggheten det gir på at man bygger det som er prosjektert. De største verdiene ved 3D laserskanning for KS forklares fint av ett intervjuobjekt på følgende måte:

Jeg synes først og fremst det er lettere å planlegge KS arbeid og få en bedre oversikt over det man sjekker. Jeg synes vi oppdager avvik tidligere og kan utbedre dem til riktig tid og å fordele ansvaret til riktig fag eller riktig person. Så er det en trygghet på at vi bygger riktig, og det er kanskje det aller viktigste. At selv om vi ikke finner masse avvik så er det egentlig en veldig bra ting for da vet vi at vi har bygd riktig og vi kan kommunisere det med byggherren og dermed vise at vi tar kvalitetsarbeid seriøst.

Forbedringsmuligheter

På spørsmål rundt hvorvidt intervjuobjektene ønsket å gjøre noe annerledes på neste prosjekt hvor 3D laserskanning for KS skal benyttes ble følgende svar gitt:

- I større grad klargjøre overgang mellom egen skanning for KS og UEs egenkontroll.
- Utarbeide en kostnadsfordeling av skanning for KS med UE.
- Stille større krav til kontinuerlig omprosjektering ved avvik.
- Involvere flere i prosjektledelsen i skanningen.
- Lage felles prosesser for skanning til KS i firmaet.
- Tidlig utarbeide en prosjektspesifikk skanningplan med hensyn til fremdriftsplan og KS plan.
- Ta i bruk verktøyet i større grad.

Det viste seg at overgangen mellom egen skanning for KS og UEs egenkontroll, sammen med hvordan kostnadene for skanning kunne fordeles mellom totalentreprenør og UE opptok flest av intervjuobjektene.

Største utfordringen med verktøyet og prosessen

Intervjuobjektene trekker frem flere utfordringer med verktøyet og prosessen. De dreier seg i korte trekk om følgende punkter.

- Høy investeringskostnad
- Tar lang tid å skanne
- Interoperabilitet
- Grensesnittet med UEs egenkontroll

De fleste intervjuobjektene trekker frem at tiden det tar å utføre 3D laserskanner for KS er en stor utfordring med dagens løsning. Den høye investeringskostnaden blir også nevnt av et intervjuobjekt. For mange entreprenørfirma blir en kostnad- og nyttevurdering til bare en kostnadsvurdering, og dermed er det flere aktører som venter med å ta i bruk 3D laserskanning for KS. Ett av intervjuobjektene med mest erfaring trekker frem at interoperabiliteten mellom plattformen og programvarer som de bruker er den største utfordringen.

4.2 Resultater - Dokumentstudie

Følgende delkapittel presenterer funn fra en dokumentstudie utført høsten 2021 i tilknytning til prosjektoppgaven (Aase & Egeland, 2021a). Dokumentene inkluderer en presentasjon som forklarer hvorfor AF Gruppen valgte å ta i bruk 3D laserskanning for KS og et Excelark med erfaringer fra tre av AF Gruppens byggeprosjekter. Det er gjort betydelige endringer på fremstilling av resultatene fra prosjektoppgaven til masteroppgaven, og det er kun tatt med funn som er ulike fra resultatene i delkapittel 4.1.

4.2.1 Bakgrunn for implementering

Kvalitetsoppfølging ved bruk av 3D laserskanning og AI-støtte ble introdusert i AF Gruppen gjennom et innovasjonsprosjekt. Målsetting for prosjektet var å utvikle en arbeidsflyt for planlegging og produksjonsoppfølging med basis i kunstig intelligens og LEAN prinsipper. Kvalitetsoppfølging ved bruk av skanning og AI-støtte har et stort potensiale i nær fremtid, mens AI-støttet fremdriftsplanlegging er mer krevende å implementere i dagens prosjekter. AF gruppen har besluttet at løsningen med AI-støtte til fremdriftsplanlegging skal overvåkes og uttestes etter behov. Denne løsningen har på lang sikt et stort potensiale, men for å få til det kreves en omfattende endring i dagens planleggingsprosesser.

4.2.2 Erfaringer med 3D-skanning fra tre prosjekter

Erfaringene som er innhentet i dokumentstudien er ved bruk av FARO Focus S laserskanner og programvare fra Scaled Robotics. Denne dataen er hentet fra prosjekter som går under kategorien pilotprosjekter ved bruk av 3D laserskanning. Alle prosjektene er utført som totalentrepriser, og inkluderer et hotellbygg og to leilighetsblokker.

Tid- og ressursbruk

Tabell 4.1 presenterer en detaljert beskrivelse av tid- og ressursbruk ved 3D laserskanning for KS.

Tabell 4.1: Tid- og ressursbruk tilknyttet 3D laserskanning med FARO Focus S og Scaled Robotics.

FORARBEID	
Opprette prosjektside og brukertilgang	I løpet av 24 timer.
Opplaste BIM-filer og tegninger	1-2 timer (avhenger noe av nettverkstilkobling). Personen med mest kjennskap til prosjektets BIM modell bør ha ansvar for å laste opp riktige tegninger.
Behov for befaring og planlegging av skanning	Avhengig av størrelse og kompleksitet av det som skal skannes. Befaringer er vurdert som hensiktsmessige for å undersøke hvilke områder som skal skannes, hvilke bygningsdeler som krever mer tid, om det trengs rydding og for å finne de beste innstillingene for skanneren.
Tidsbruk for befaringer	Tar ofte rundt 1 time.
Klargjøring av skanneområder	Varierer og er avhengig av hva som skal skannes. Rydde forløpende ved behov eller ta opp problemstillingen i byggemøte i forkant av skanning.
SELVE SKANNINGEN (DATAFANGST)	
Tilpasning av skannerinnstillinger	Ca. 30 minutter. Avhenger av omfang av befaring og om det er utført prøveskanning.
Fordeling og plassering av referansepunkter	Ca. 1-2 timer.
Datafangst og reposisjonering av utstyr	Ca. 5-10 minutter for hvert skannepunkt.
BEHANDLING AV FILER	
Overføring av filer til datamaskin	Ca. 30-60 minutter for hver innsending.
Organisering av filer	Ca. 10-25 minutter.
Opplasting av filer til Scaled Robotics	30-60 minutter.
Analyse av data	For råbygg mottas resultatene etter ca. 2 dager. Ferdige overflater trenger ca. 7 dager før resultatene mottas.
GJENNOMGANG AV RESULTATER	
Gjennomgang av resultater	Prosjekt 1: Ca. 40 timer for hele bygget. Prosjekt 2: Ca. 1 arbeidsdag.
Opprettelse av avvik	Noe tidkrevende prosess. Det trekkes frem at det bør være mulig å få til en løsning som automatisk oppretter avvik i Dalux basert på resultatene i Scaled Robotics.
Total tidsbruk for skanning	Vurdert som grei dersom man har tilgjengelig arbeidskraft som kan dedikeres til skanning.
OVERORDNET RESSURSBRUK	
Nødvendig ressursbruk	To personer som arbeider med skanning og behandling av resultater. En for å utføre selve skanningen, og en for å gjennomgå resultatene. Det anbefales at det er en fast ressurs som skanner på fastsatte tider slik at en fra prosjektledelsen kan ha ansvar for å gjennomgå resultatene, generere rapporter og videreformidle informasjon.

Andre funn

Tabell 4.2 oppsummerer andre relevante funn fra dokumentstudien.

Tabell 4.2: Andre funn tilknyttet 3D laserskanning med FARO Focus S og Scaled Robotics.

GENERELT MED AVVIK	
Hvordan oppdages avvikene	<p>Prosjekt 1: Avvik delvis oppdaget av UE og delvis av skanning.</p> <p>Prosjekt 2: Avvik først oppdaget i produksjon, og senere bekreftet ved skanning.</p> <p>Prosjekt 3: Avvik identifisert ved skanning og manuell kontroll.</p>
Hvem utbedrer avvikene	UE. Hva som blir gjort avhenger av type avvik. Eksempler: flytting av feilplasserte søyler, ekstra sparkling av vegger, endring av fall på dekke, sliping eller pussing.
Når utbedres avvikene	Som regel sent i produksjon eller etter råbyggfasen.
Hvordan utbedringene dokumenteres	Blir dokumentert på vanlig vis med bilder fra befaring som legges inn i Dalux.
ØKONOMISK PÅVIRKNING	
Påvirkning på prosjektøkonomien	Et prosjekt fikk ekstra kostnader for betongsaging og kjerneboring. Avvik tilknyttet ferdige overflater hadde lite eller ingen effekt fordi resultat var misvisende. Et annet prosjekt fikk flere funksjonærtimer til oppfølging av arbeider som en følge av avvikene.
Påvirkninger på forsinkelser	Ene prosjekt tre dager lokalt forsinket, måtte revidere fremdriftsplan. De andre prosjektene oppstår det forsinkelser på henholdsvis dekke- og tømmerarbeider.
BIM	
Egnethet av BIM modellen	Det ene prosjektet nevner ulempen med at BIM ikke er definert som arbeidsgrunnlag. Siden BIM ikke er arbeidsgrunnlag ble det av og til gjort endringer direkte i tegningene før utførelse.
BIM modellens kvalitet	En del av komponentene i BIM modellen hadde for to av prosjektene feil etasjetilknytning/komponentgruppe, og dermed var ikke navigering og filtrering i Scaled Robotics plattformen optimal.
Krav til BIM modell	Bør stilles krav til tverrfaglig koordinering og kollisjonskontroll, og modellen bør teoretisk være uten kollisjoner. Bør være definert på forhånd hvordan en utsparring skal defineres.

4.3 Resultater - Avviksanalyse

4.3.1 Effekter av tidlig deteksjon

Tidligere deteksjon av avvik er av alle intervjuobjektene beskrevet som en av de aller største fordelene med å benytte seg av 3D laserskanner for KS. Ved å analysere konkrete avvik oppdaget med 3D laserskanner i prosjekter, samtidig som erfaringene fra dem som gjennomførte skanningen er studert, har fordelene med tidlig deteksjon av avvik blitt kartlagt i vedlegg C. Ved å belyse hvilke effekter tidlig deteksjon av avvik har dannes det ett grunnlag for å bedre besvare lønnsomhetsspørsmål vedrørende verktøyet. Analysen kan også fungere som en beslutningstøtte i spørsmål rundt hvilke typer avvik bruk av verktøyet bør fokuseres mot.

I et totalentreprenørsperspektiv oppleves deteksjon og dokumentasjon av avvik som sentrale oppgaver. Mange av kostnadene for avvik vil ikke tildeles totalentreprenør dersom det er UE som er årsaken til avviket. Dette krever imidlertid at avvikene oppdages. Flere av intervjuobjektene opplever også at avvik fører til mye «plunder og heft» for dem som totalentreprenør. Hvert grensesnitt eller hvert fag som skal rette opp avviket må koordineres og dette innebærer en tidsbruk som er vanskelig å fordele til UEene igjen. Ved å oppdage og utbedre avvik tidlig før tilstøtende fag og operasjoner forekommer kan man unngå denne koordineringen. Dette gir et motiv for å detektere avvik tidlig.

4.3.2 Spart risiko ved 3D skanning for KS

Spart risiko-matrisen, illustrert i tabell 4.3, viser en sammenstilling av resultatene fra avviksanalysen. Matrisen vurderer avviktypenes frekvens, konsekvens, og vanskelighetsgrad for tidlig visuell deteksjon uten skanner for å vurdere den potensielt sparte risikoen ved å benytte seg av 3D laserskanner for KS. Det benyttes en skala fra 1 til 5 for de ulike faktorene. Det bemerkes at det er en kvalitativ vurdering av de ulike faktorene, og ikke summen av tallverdiene, som avgjør valg av kategori for spart risiko. En høy konsekvens eller frekvens er her veid høyere enn vanskelighetsgrad for tidlig visuell deteksjon. Begrunnelsen for dette er funn i flere intervju. Ett intervjuobjekt har blant annet erfart at deteksjon av kun ett svært alvorlig avvik med skanner kan være nok til å dekke inn hele utgiften for skanningen på prosjektet. Ett annet intervjuobjekt har erfart at en stor mengde mindre alvorlige avvik fører til flere mindre forsinkelser, noe som igjen kan ødelegge flyten av produksjonen og føre til misnøye blant UEene. Dette kan igjen påvirke produksjonen og medvirke til nye feil og avvik.

Tabell 4.3: Spart risiko-matrise.

SPART RISIKO VED 3D LASERSKANNING FOR KS				
Avvik	Frekvens	Konsekvens fremdrift/ kostnad	Vanskelighets- grad tidlig visuell deteksjon	Potensiell spart risiko
Feilplassert utsparing i betong	4	2	4	Middels +
Manglende utsparing betong	4	2	4	Middels +
Manglende utsparing i BIM modell	3	2	4	Middels
Manglende utgang for kanal i BIM modell	2	1	4	Lav -
Feilplassert oppstikk rør	3	3	4	Middels +
Feilplassert oppstikk elektro	3	2	4	Middels
Manglende rørutstikk vegg	2	2	2	Lav
Feilplassert rør	3	2	4	Middels
Feilplassert sprinklerrør	3	2	4	Middels
Feilplassert kabelbro	2	2	4	Middels -
Feilplassert ventilasjonskanal	3	2	4	Middels
Loddavvik betong	3	2	4	Middels
Betongdekke i feil høyde	2	3	2	Lav +
Høydeavvik prefabrikkert betongelement	2	3	2	Lav +
Feilplasserte søyler	1	4	4	Middels +
Feilplasserte bjelker	1	4	4	Middels +
Feilplassert massivtrebjelke	1	4	4	Middels +
Feilplassert innervegg	2	3	3	Lav +

Diskusjon

I dette kapitlet diskuteres resultatene, både relativt til hverandre og opp mot det teoretiske grunnlaget. Kapitlet er strukturert etter forskningsspørsmålene, og starter dermed med en diskusjon rundt hvordan 3D laserskanning påvirker kvalitetssikringen i byggeprosjekter. Videre blir forutsetninger som er nødvendig for en optimal bruk av 3D laserskanning for KS diskutert, etterfulgt av en diskusjon om faktorer som påvirker lønnsomheten, før det avslutningsvis blir diskutert hvordan teknologisk utvikling kan føre til økt nytteverdi i fremtiden.

5.1 3D laserskannings påvirkning på KS

Dette delkapitlet har til hensikt å diskutere det første forskningsspørsmålet: «Har byggeprosjekter som benytter seg av 3D laserskanning for kvalitetssikring bedre kvalitetssikring enn prosjekter med tradisjonell form for kvalitetssikring?». Formålet med diskusjonen er å drøfte 3D laserskanning for KS opp imot tradisjonell form for KS for å gjøre vurderinger rundt verktøyets potensial.

Sammenligningsgrunnlag

For å sammenligne tradisjonelle metoder for KS opp mot bruk av 3D laserskanning for KS er flere faktorer avgjørende. Et godt KS verktøy bør til syvende og sist gi et prosjekt med bedre kvalitet. I tillegg må også tidsbruk og kostnader tas i betraktning. Det er en rekke underliggende faktorer som påvirker kvalitet, tidsbruk og kostnader. De viktigste av disse med hensyn til 3D laserskanning for KS diskuteres videre i dette kapitlet.

For å kunne vurdere 3D laserskanningens påvirkning på KS mot tradisjonelle former for KS kreves det kunnskap rundt tre ulike situasjoner. For det første trengs det kunnskap rundt null-situasjonen som i dette tilfellet er hvilken verdi og kostnad en tradisjonell form for KS gir. For det andre trengs det kunnskap rundt hvilken verdi og kostnad 3D laserskanning for KS gir for et prosjekt med en gjennomsnittlig bruk av verktøyet. Til slutt behøves det også kunnskap rundt hvilken verdi og kostnad en ideell bruk av verktøyet medfører. I og med at verktøyet kan ansees som relativt nytt i norsk byggebransje, samtidig som at flere intervjuobjekter uttrykker at de er i en utviklingsfase, kan det argumenteres for at den reelle verdien ved verktøyet ligger noe høyere enn for dagens gjennomsnittsbruk av verktøyet.

Å samle og sammenligne data for de tre situasjonene medfører flere utfordringer. Dette kommer blant annet av at de tre hovedfaktorene kvalitet, kostnad og tid er kompliserte å måle. Dette kan være en av årsakene til at det finnes svært lite forskningsdata vedrørende disse faktorene og prosessene tilknyttet tradisjonell KS. Diskusjonen i dette kapittelet tar dermed utgangspunkt i intervjuobjektene kvalitative oppfatning av endring i KS for å sammenligne egenskaper ved tradisjonell KS mot KS ved bruk av 3D laserskanning. Disse oppfatningene sees videre i sammenheng med relevant teori og resultater fra dokumentstudien.

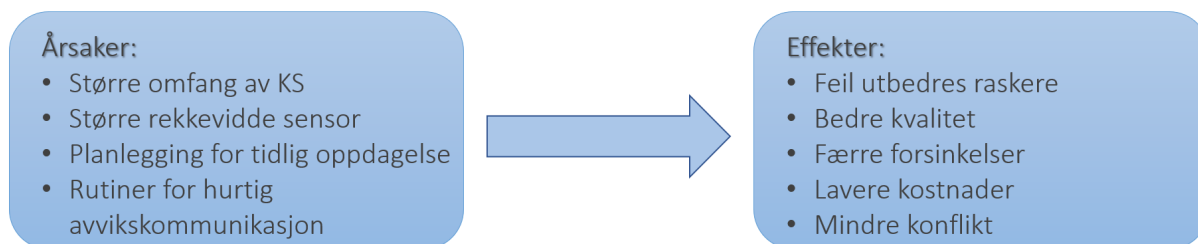
5.1.1 Tidligere oppdagelse av avvik

Det kommer klart frem at entreprenørene har erfart at avvik oppdages tidligere ved bruk av 3D laserskanning for KS. Dette har ført til at flere har unngått store kostnader som følge av forsinkelser og følgefeil. Disse funnene stemmer overens med funn i Jevarunen (2021) sin studie av 3D laserskanning for KS i byggebransjen i Norge. Tidlig oppdagelse av avvik beskrives i litteraturen som en viktig del av kvalitetsarbeidet som gjøres på byggeplassen (Olsson, 2017). Ved å oppdage avvik tidligere kan feil utbedres raskere. På denne måten unngås følgefeil og kollisjoner. Dette bidrar igjen til økt produktivitet og reduserte kostnader. Mindre følgefeil og kollisjoner gir også en reduksjon i stress og konflikt mellom aktørene i prosjektet, noe som litteraturen peker på som en nøkkel for god kvalitet.

Flere av intervjuobjektene opplevde også at omfanget av KS økte når de tok i bruk 3D laserskanning. Et spørsmål blir dermed om den tidligere oppdagelsen av avvik stammer fra bruken av verktøyet i seg selv eller om det forekommer som en følge av en generell økning i omfanget av KS. En faktor som spiller inn her er at 3D laserskanning, i motsetning til tradisjonelle verktøy, måler et større område av gangen ved hver enkel skann. På denne måten kan man argumentere for at det økte omfanget av KS ikke nødvendigvis stammer fra et økt fokus og tidsbruk på KS, men som følge av bruken av verktøyet. På den andre siden mener flere at det også ble brukt mer tid på KS med 3D laserskanning enn det det ville blitt gjort dersom de kun utførte tradisjonell KS. Dette taler for at den økte bruken ikke utelukkende har en sammenheng med 3D laserskanningens rekkevidde. Flere intervjuobjekter, der mange opplyser om at de er i en tidlig testfase av bruken av verktøyet, opplyser imidlertid om at de har brukt verktøyet som et tillegg til tradisjonell KS. Også disse intervjuobjektene registrerte at avvik ble funnet tidligere med verktøyet. Dette tyder på at bruken av 3D laserskanning for KS har en effekt der flere avvik oppdages tidligere.

Det at avvik oppdages tidligere gir i seg selv ingen gevinst. Gevinsten forekommer først dersom tiltakene også utføres på et tidligere tidspunkt. Resultatene fra intervju og dokumentstudie tyder på at tiltak ble tatt tidligere i flere prosjekter. I en andel av prosjektene skjedde dette imidlertid ikke, selv om 3D laserskanning for KS ble benyttet. Disse prosjektene hadde alle til felles at tidspunktet for skanningen i liten grad var planlagt. Dette medførte at en del av elementene som ble kontrollert var bygget for lang tid siden, noe som umuliggjorde tidlig oppdagelse av avvik. Andre intervjuobjekter opplevde også forsinkelser i prosessering og distribusjon av avvik som igjen medførte at effekten av å oppdage avvikene tidligere ikke ble utnyttet. Disse funnene tyder på at forbedringer av prosesser og verktøy kan øke effekten av tidlig avviksdeteksjon ytterligere.

Figur 5.1 viser en oversikt over årsaker til at avvik oppdages tidligere med 3D laserskanning for KS. I tillegg til hvilke effekter tidligere oppdagelse av avvik kan føre til.



Figur 5.1: Årsaker til og effekter av tidligere oppdagelse av avvik.

5.1.2 Oppdagelse av flere avvik

Litteraturen beskriver fravær av feil som en av de viktigste bestanddelene innen begrepet kvalitet. Ettersom det feil- og skadebaserte forbedringspotensialet i norsk byggevirksomhet er anslått til å være mellom hele 5-13 % av byggeprosjektets produksjonskostnad (Ingvaldsen, 2008) er det tydelig at det finnes et potensial for store besparelser dersom en unngår feil i prosjektleveranser. En oppdagelse av feil er avgjørende for de ulike delene av kvalitetssystemet. Dersom feil ikke oppdages, vil det ikke være mulig hverken å utbedre eller å lære av dem. Det er en stor enighet blant intervjuobjektene om at en av de største fordelene med 3D laserskanning for KS er at det oppdages flere avvik. En faktor det imidlertid ikke er like lett å måle er i hvilken grad den økte deteksjonen av avvik faktisk har ført til bedre kvalitet på prosjektene som har tatt i bruk verktøyet.

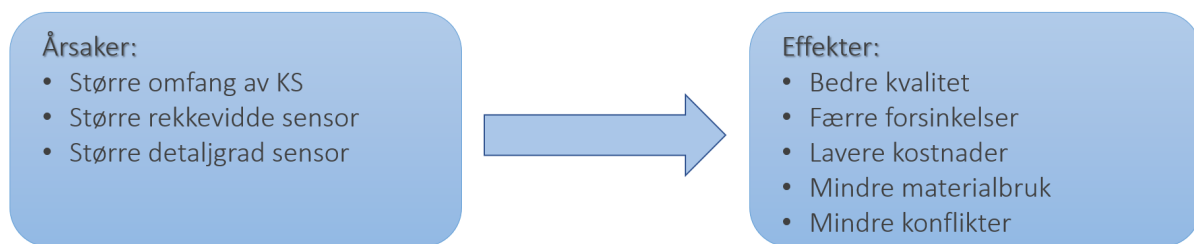
Intervjuobjektene opplyser om at 3D laserskanning avdekker flere avvik fordi det er en helt annen måte å søke etter avvik på. Med 3D laserskanningens detaljgrad og rekkevidde har intervjuobjektene flere eksempler på avviksfunn som ikke ble oppdaget med tradisjonelle metoder. Disse avvikene har ofte en plassering, et omfang eller en synlighet som vanskeliggjør oppdagelse visuelt eller ved punktmålinger og stikkprøver. Ved å oppdage og utbedre slike avvik vil prosjektet kunne oppnå en høyere kvalitet enn dersom verktøyet ikke hadde vært brukt. Samtidig opplyser flere intervjuobjekter om at de fleste avvikene av betydning uansett ville blitt oppdaget i løpet av produksjonen. Som regel skjer dette fordi det oppstår kollisjoner med påfølgende arbeider som følge av avvikene. En avgjørende faktor blir dermed hvilken verdi det har at avviket oppdages ved KS fremfor av produksjonen. Dersom avviket først oppdages av produksjonen har man eksempler på konsekvenser som forsinkelser, merarbeid, konflikter, større materialbruk, upraktiske løsninger og visuelt dårlige løsninger. Samtidig er det allikevel slik at de fleste avvik er av en slik karakter at de vil være mulig å løse med relativt enkle grep på plassen.

Gjennom intervjuer og studier av avviksdatabaser er det tydelig at mange av avvikene som programmene oppdager ikke er av en karakter som fører til at de blir fulgt opp videre på byggeplassen eller i modeller. En måling av slike avvik strider imot Olsson (2017) kjennetegn for gode kvalitetsmålinger hvor hvorvidt målinger fører til handling bemerkes som et viktig poeng. En oppdagelse av slike betydningsløse avvik kan tenkes å virke mot sin hensikt og bidra til støy og misbrukt tid i kvalitetssikringsprosessen. Intervjuobjektene hadde ulike meninger rundt hvilken effekt betydningsløse avvik hadde for KS prosessen. Det ble registrert at intervjuobjektene som hadde lang erfaring fra byggeplass mente at disse avvikene hadde svært liten betydning og at det var enkelt å skille

ut avvikene med betydning. Intervjuobjektene som hadde mindre erfaring fra byggeplass, som tilhørte mer tekniske stillinger eller var nyutdannede, mente derimot at det var tidkrevende og vanskelig å skille betydningsfulle avvik ut fra den store mengden avvik. Dersom mange betydningsløse avvik ble kommunisert til UEene er det eksempler på at det har medført misnøye blant UEene. Dette tyder på at oppdagelsen av flere avvik kan føre til økt tidsbruk og dårligere KS. Samtidig er det oppdaget et potensiale for forbedring ved at det er mulig å unngå denne negative effekten.

Selv om intervjuobjektene mener det er oppdaget flere avvik med bruk av 3D laserskanning for KS viser denne studien at det også er eksempler på avvikstyper det ikke er mulig å oppdage med verktøyet. Dette skiller seg fra konklusjoner trukket i Jevarunen (2021) sin masteroppgave. Laserskanning benyttes i dag kun til å måle komponenters fysiske plasseringer og størrelser. Avvik tilknyttet eksempelvis feil materialtype, materialkvalitet, farge eller lignende oppdages ikke. Dette er en av grunnene til at det fortsatt er nødvendig å utføre tradisjonelle former for KS i tillegg til KS ved skanning. Samlet sett tyder funnene på at det er mulig å oppnå en kvalitetsgevinst ved å bruke 3D laserskanning ettersom det er mulig å oppdage flere avvik. Det er imidlertid avgjørende med kjennskap til verktøyets begrensinger så vel som kunnskap rundt byggproduksjon generelt for å kunne oppnå denne gevinsten.

Figur 5.2 viser en oversikt over årsaker til at flere avvik oppdages med 3D laserskanning for KS. Samt hvilke effekter oppdagelse av flere avvik kan føre til.



Figur 5.2: Årsaker til og effekter av oppdagelse av flere avvik.

5.1.3 Tidsbruk

KS er kun en av mange oppgaver som faller under prosjektledelsens ansvar i et byggeprosjekt. Med prosjektene begrensede ressurser og entreprenørbransjens høye konkurranse er det viktig for prosjektets suksess at tid og ressurser forvaltes best mulig. Det at flere av intervjuobjektene opplever deler av bruken av 3D laserskanning som tidkrevende er dermed en viktig faktor for å vurdere KS med 3D laserskanning opp mot tradisjonelle former for KS.

Det ble registrert ulike tilbakemeldinger på spørsmålet rundt hvorvidt 3D laserskanning for KS ble oppfattet som tidkrevende. Dette kan komme av flere ulike faktorer. En av de mest påfallende er at de ulike prosjektene har hatt en ulik tilnærming til bruken av verktøyet. Det syntes å være en sammenheng der de som har brukt verktøyet målrettet mot enkelte avgjørende eller hyppig forekommende avvikstyper har opplevd verktøyet som lite tidkrevende. De som derimot har kontrollert større områder som soner, etasjer eller hele bygg har oppfattet det som mer tidkrevende. Ettersom de mest tidkrevende prosessene innen skanning for KS er å gjennomføre skanningen på plassen og prosessering av data i ettertid kan dette virke logisk. Hele bygg omfatter store arealer og krever dermed mange skanningsoppstillinger.

Filstørrelsene blir dermed større og tyngre å prosessere. Man kan allikevel argumentere for denne fremgangsmåten ettersom man ved å dekke store arealer kan finne avvik som man ellers ikke ville funnet med tradisjonell KS. Ved å benytte seg av målrettede skanningsoppstillinger vil man kunne finne flere avvik per tid som brukes. Samtidig kan man argumentere for at man kan gå glipp av kritiske avvik som ellers ville vært vanskelig å oppdage. Dersom det er mistanke om avvik på enkeltelementer kan man også argumentere for at det er raskere å kontrollere elementet med tradisjonelle metoder fordi man slipper å rigge opp alt utstyret og gå igjennom alle stegene i skanningsprosessen.

Ett spørsmål som må stilles er hvorvidt KS med 3D laserskanning er mer tidkrevende enn tradisjonelle former for KS. Dette syntes i stor grad å avhenge av omfanget av kvalitetssikringen. Ved kjente enkeltavvik ansees som regel tradisjonell KS som raskest. Tradisjonell KS ansees også som raskest dersom store arealer skal kontrolleres med en relativ lav nøyaktighet. Funn fra intervju kan imidlertid tyde på at KS med 3D laserskanning kan være raskere dersom man skal kontrollere flater som er av en størrelse som ikke egner seg for enkle punktmålinger og som samtidig krever KS med høy nøyaktighet. Dette fører igjen med seg spørsmålet om det er et behov for en så omfattende og detaljert KS. I forhold til gjeldende lover og standarder er tradisjonell KS tilstrekkelig. Ansvarsretten gjør også at UEene har en selvstendig egenkontroll der de i dag stort sett benytter tradisjonelle former for KS selv. Dette fører til at det i dag utføres KS både tradisjonelt av UE og med skanner av TE i de undersøkte prosjektene. I og med at arbeidet allerede skal være kontrollert av UE kan man argumentere for at en detaljert og omfattende KS utført av TE er unødvendig. Samtidig har intervjuobjektene flere eksempler på avvik der de mener de har unngått forsinkelser, og dermed spart tid, på å oppdage avvik UE har oversett i deres egenkontroll eller som er av en tverrfaglig karakter.

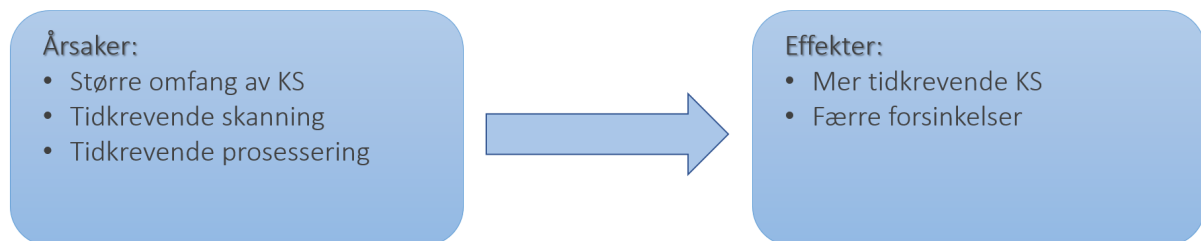
Utstyr og programmer er en annen faktor som påvirker tiden det tar å utføre 3D laserskanning for KS prosessen. Det ulike utstyret har forskjellige egenskaper som rekkevidde, vekt, nøyaktighet med mer. En ser også store forskjeller i tidsbruken for skanning og prosessering. Det å bruke riktig utstyr og program for den respektive arbeidsoperasjonen kan dermed være svært tidsbesparende. Dette krever imidlertid en god kunnskap rundt de ulike verktøyene og programmenes egenskaper. Sett opp mot de ulike intervjuobjektene tilbakemeldinger syntes det å være relativt store ulikheter i kunnskapsnivået innad i firmaene.

Funnene i denne studien tyder på at tidsbruken er den største hindringen for å ta i bruk verktøyet i større grad. Dette funnet skiller seg i noen grad fra funn gjort i Jevarunen (2021) sin masterstudie hvor det blant annet hevdes at 3D laserskanning kan identifisere alle avvik enkelt og raskt. En av årsakene til ulikheten mellom funnene kan være måten spørsmålet rundt tidsbruk blir tolket. Dersom tidsbruken for å utføre skanningen sees i sammenheng med innspart tidsbruk i form av unngåtte forsinkelser vil det være vanskeligere å avgjøre hvorvidt tidsbruk er den største hindringen. Jevarunen (2021) sine funn kan også tenkes å være påvirket av at spørreundersøkelser ble utført med flere representanter fra leverandørsiden som intervjuobjekter.

Denne studien tyder også på at tidsbruken er avgjørende for hvordan skanning brukes. Tidsbruken oppfattes som en barriere for større bruk i områder som kvalitetsstyring, fremdriftsstyring og sikkerhetsstyring. Man ser samtidig relativt store forskjeller mellom intervjuobjektene oppfatninger av tidsbruken og eksempler fra deres prosjekter belyser også store forskjeller. Dette tyder på at det er et

potensial for å forbedre tidsbruken ved å optimalisere prosessen med skanning for KS og ha en god kjennskap til utstyr og programvare.

Figur 5.3 viser en oversikt over årsaker til at 3D laserskanning for KS kan oppfattes som tidkrevende. I tillegg viser figuren at skanningen også kan ha en positiv effekt innenfor tidsbruk da verktøyet kan bidra til færre forsinkelser i prosjektet.



Figur 5.3: Årsaker til og effekter av tidsbruk for 3D laserskanning for KS.

5.1.4 Omfattende dokumentasjon

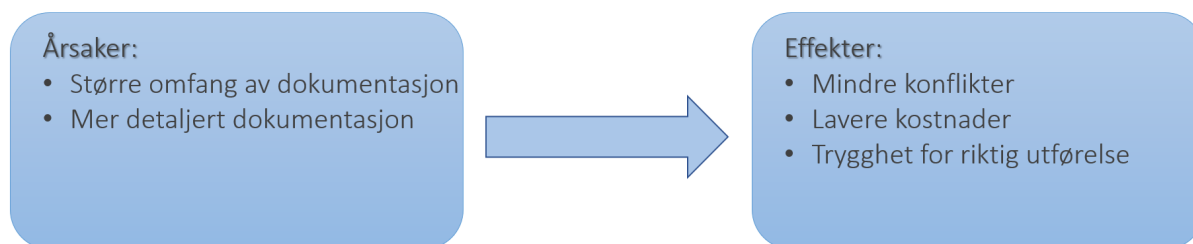
Ifølge intervjuobjektene fører KS med 3D laserskanning til en mer omfattende og detaljert dokumentasjon av det gjennomførte arbeidet. Dette funnet stemmer godt overens med funn i Jevarunen (2021) sin masterstudie. Dokumentasjonen kan være nyttig i en rekke ulike sammenhenger. Ifølge forskningslitteratur er byggebransjen i Norge preget av tvister og konflikter. Uløste tvister tar tid og ressurser å løse. Dette fører til tap og merkostnader for alle involverte. 3D laserskanning fører med seg fordelen med at man har dokumentasjon på hva som er bygd til hvilken tid og hvordan det som er bygget er utformet. Slik dokumentasjon kan være en støtte i uoverensstemmelser med både BH, UE, prosjekterende, leverandører og sluttbrukere. Ved å hindre konflikter kan man unngå potensielle forsinkelser og merkostnader. Dokumentasjonen gir også TE en trygghet for at man faktisk bygger det som er forventet. Det kan argumenteres for at all dokumentasjon som ikke blir brukt direkte allikevel fører med seg en risikoreduksjon for TE ettersom TE med større sikkerhet vet at de har bygget rett. Intervjuene viser at dette er av stor verdi for TE ettersom flere intervjuobjekter mener det er den viktigste fordelen med verktøyet.

Selv om detaljert dokumentasjon av produsert kvalitet utvilsomt kan være svært nyttig medfører dokumenteringen også utfordringer. En stor mengde dokumentasjon er tidkrevende å samle og det krever store ressurser for å lagre slike mengder data i hele reklamasjonstiden. Sett i sammenheng med hvor liten andel av den totale dokumentasjonen som faktisk blir benyttet kan man dermed sette spørsmål ved om en så omfattende dokumentasjon er hensiktsmessig. Det er også eksempler på at UEer føler seg overvåket av skanningen. Dette kan gjøre at dokumentasjonen virker mot sin hensikt og medfører et dårligere samarbeidsklima som igjen kan føre til flere konflikter.

Et annet sentralt spørsmål er hvorvidt skanningsdokumentasjonen alene kan benyttes som KS dokumentasjon. I dag utføres tradisjonell KS av UEene, med sjekklister og bilder, i tillegg til at TE gjennomfører 3D laserskanning etter egne ønsker og behov. Man kan dermed argumentere for at en del av dokumentasjonen blir dobbelført og dermed kan ansees som unødvendig merarbeid. I tillegg til utfordringene tilknyttet KS ansvar er det også andre årsaker til at dokumentasjon fra skanner ikke holder

alene. Skanningen ser kun overflaten av elementer. Dette medfører at feil skjult bak overflaten, kvalitet på materialer, prosedyrer og lignende ikke blir dokumentert ved skanning. Skanningsdokumentasjon kan allikevel sees på som verdifull. En skann vil gi en grafisk 3D visualisering av posisjonsavvik og situasjonen rundt avviket. Dette kan gi en bedre forståelse av avviket enn det som er mulig med tradisjonelle metoder for KS.

Figur 5.4 viser en oversikt over årsaker til at KS dokumentasjonen blir bedre med 3D laserskanning for KS. Samt hvilke effekter den omfattende dokumentasjonen kan ha på prosjektet.



Figur 5.4: Årsaker til og effekter av omfattende dokumentasjon.

5.1.5 Oppdatert tegningsunderlag

Resultatene fra studien tyder på at det ikke er noen endringer i hvor ofte tegningsunderlaget oppdateres etter at prosjektene har tatt i bruk 3D laserskanning for KS. Dette på tross av at intervjuobjektene mener det oppdages flere avvik og at disse finnes tidligere. Gjennom intervjuer er det slått fast at en av de viktigste fordelene med KS med laserskanning er at feil kan unngås ved at tegninger og modeller oppdateres tidlig. På denne måten unngår man tverrfaglige avvik og man kan bygge riktig fra første stund. Ett viktig spørsmål er dermed hvorfor en ikke ser hyppigere oppdateringer av tegningsunderlaget underveis i byggeprosjektene.

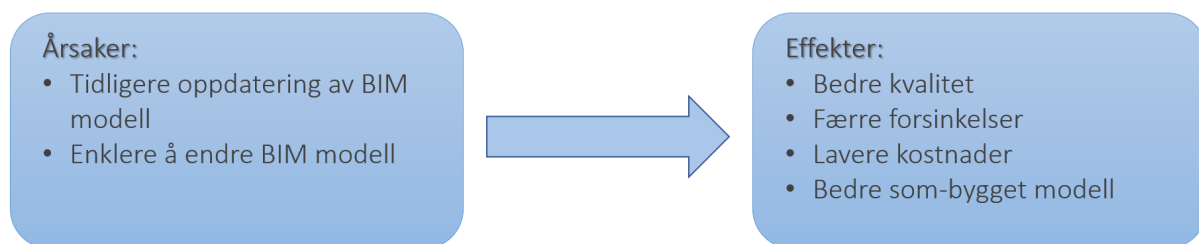
Studien har belyst flere årsaker til at bruk av 3D laserskanning for KS ikke har ført til hyppigere endringer i tegningsunderlaget. På den ene siden har enkelte av intervjuobjektene opplevd en motstand fra de prosjekterende. Det opplyses om at det er en kultur der kun et fåtall kritiske avvik blir oppdatert underveis. Andre avvik blir samlet opp og rettet i modeller først ved prosjektslutt. Ved å benytte seg av denne metoden risikerer man dermed å miste gevinsten ved å oppdage avvik tidlig dersom avviket ikke kommuniseres på andre måter til de ulike fagene i prosjektet. En kan argumentere for at de prosjekterende utfører det samme arbeidet uansett om de oppdaterer modeller underveis eller ved prosjektslutt og at dette dermed er en lite produktiv metode. På den andre siden mener flere intervjuobjekter at de fleste avvik som blir funnet med skanner er av en karakter som ikke krever involvering av prosjekterende, men at det er mest produktivt å løse disse avvikene på byggeplassen. En utfordring denne metoden fører med seg er at det kan oppstå tverrfaglige misoppfatninger om hvor de ulike komponentene skal plasseres. Dette øker risikoen for kollisjoner med andre fag sine arbeider. Det kan også føre til at de prosjekterende, UEer og TE har ulike oppfatninger av den faktiske situasjonen på byggeplassen.

Resultater fra intervjuene kan tyde på at intervjuobjektene holdninger til hvor ofte modeller skal oppdateres kan ha en sammenheng med alder og erfaring fra bransjen. Det kan virke som noen av de

unge intervjuobjektene har en mer nytenkende og utfordrende holdning til dilemmaet. Disse intervjuobjektene har et ønske om en større grad av kontinuerlige oppdateringer gjennom produksjonen enn det som forekommer i dag. Flere av de mer erfarne intervjuobjektene, som ansees å være i besittelse av mye kunnskap om bransjen, mener derimot at det ikke er produktivt å oppdatere modellene i særlig større grad enn i dag. Det er allikevel enighet om at det må finnes en skjønnsmessig grense ut ifra alvorlighetsgraden av avvikene. Det at det ikke er oppdaget en endring i antall oppdateringer på tross av at flere avvik oppdages kan sammen med avviksanalysen gi en indikasjon på at det oppdages få alvorlige avvik. Noen intervjuobjekter mener allikevel at det er eksempler på alvorlige enkeltavvik som gir en så stor effekt at de er viktige nok i seg selv. Det har imidlertid vært utfordrende å få tilgang til konkrete eksempler på slike avvik for å utføre nærmere studier.

Man ser i dag ingen endringer i hyppigheten av oppdatering av tegningsunderlag underveis i prosjekter i forhold til ved tradisjonell KS. Det kan argumenteres for at feil som uansett oppdateres i modeller bør oppdateres på tidligst mulig tidspunkt for å få en verdi av tidlig oppdagelse av avvik. Det finnes optimaliseringsmuligheter ved å fastsette grenser for hvilke avvik som er av en karakter som bør føre til oppdateringer av tegningsunderlag underveis i produksjonen.

Figur 5.5 viser en oversikt over årsaker til at tegningsunderlaget kan bli oppdatert hyppigere ved bruk av 3D laserskanning for KS. I tillegg viser figuren effekter som ett oppdatert tegningsunderlag kan ha på prosjektet.



Figur 5.5: Årsaker til og effekter av oppdatert tegningsunderlag.

5.1.6 Som-bygget modell

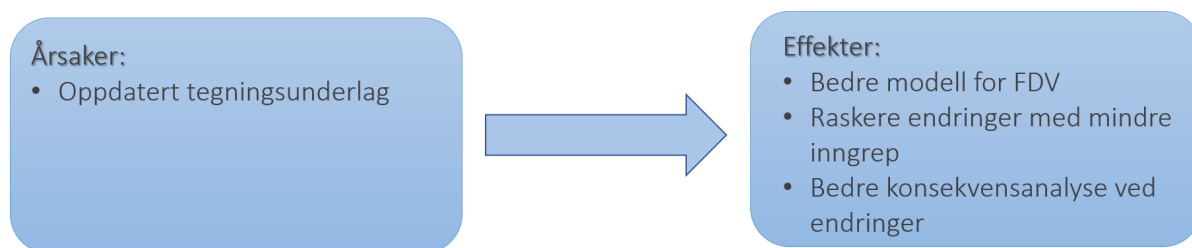
En klar fordel med laserskanning er at man oppnår en modell av den faktiske situasjonen på byggeplassen. Forskningslitteratur belyser flere fordeler ved å benytte seg av som-bygget modeller. Blant dem er at en oppnår en kontroll som kan nyttes til å forbedre prosesser og bedre regne på konsekvenser ved endringer. I byggeprosjekter ser mange intervjuobjekter at som-bygget modeller kan være en viktig ressurs i FDV arbeidet. En korrekt modell kan medføre at endringer kan gjøres raskere og med mindre inngrep fordi man er sikre på plassering og mål på de ulike komponentene. Resultater fra denne studien tyder allikevel på at som-bygget modeller i liten grad blir brukt i dag.

Flere av intervjuobjektene peker på BH som den avgjørende årsaken for at det ikke utarbeides bedre og mer detaljerte som-bygget modeller. Ifølge dem er det kun BH som oppnår fordeler med detaljerte modeller. De anser dermed kostnadene og ansvaret for at dette skal bli gjennomført som BH sitt ansvar. Et spørsmål som kan stilles er hvorfor ikke BHene etterspør nøyaktige modeller av bygget i dag. En årsak kan være usikkerhet vedrørende lønnsomheten av modellen. En annen mulig årsak er manglende

kunnskap hos de ulike aktørene. Man ser imidlertid en utvikling der flere BHer har fått øynene opp for mulighetene. Utviklingen kan dermed tyde på at kunnskapen rundt som-bygget modeller og skanning kan bli mer etterspurt av TE i fremtiden.

Det finnes også potensielle fordeler med detaljerte som-bygget modeller for TE. Informasjonen man får ut av modellene kan benyttes for å optimalisere prosesser og dag til dag resultater og forbedre konsekvensanalyser ved endringer. For å få en full effekt av denne gevinsten kreves det imidlertid at 3D laserskanning jevnlig benyttes som en sensor. Dette kan medføre ett omfattende skanningsarbeid. TE kan også tilby salg av som-bygget modeller som en tjeneste for BH.

Figur 5.6 viser at en mer nøyaktig modell muliggjøres ved bruk av 3D laserskanning for KS. En bedre som bygget modell kan igjen føre med seg flere effekter som vist i figuren.



Figur 5.6: Årsaker til og effekter av som-bygget modell.

5.1.7 Prosjektstyring

En god kontroll over byggeproduksjonen og produksjonsprosessene er avgjørende for prosjektledelsen i et byggeprosjekt. 3D laserskanning for KS kan ifølge flere intervjuobjekter fungere som en støtte for å oppnå en bedre oversikt over arbeidene som utføres, altså den produserte kvaliteten. Dataene som hentes inn kan også benyttes til å kunne gi indikasjoner på fremdrift, sikkerhet og kvalitet. Denne informasjonen kan igjen være sentral for fremdrifts-, sikkerhets- og kvalitetsstyring.

Kvalitetssystemer inneholder prinsipielt to typer informasjon, styringssystemer og registreringer (Olsson, 2017). 3D laserskanning kan fungere som en registreringssensor på byggeplassen som ifølge intervjuobjekter kan gi en hyppigere og mer presis oversikt enn det tradisjonelle metoder gir. Det oppleves også en sammenheng der intervjuobjektene opplever at desto oftere man skanner desto bedre oversikt og kontroll oppnår man. Selv om det er flere konkrete eksempler på at resultat fra skanning er brukt til kvalitetsstyring er verktøyet imidlertid enda ikke inkludert som en del av styringssystemene til noen av firmaene eller prosjektene i dag.

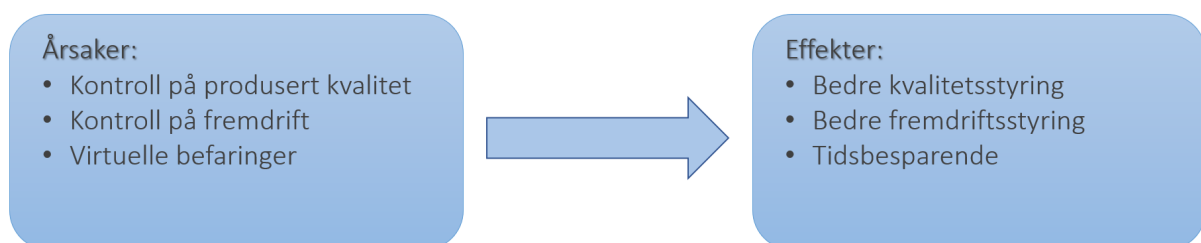
Et spørsmål som kan stilles er hvorvidt det er et behov for nye mer detaljfokuserte sensorer for kvalitetsstyring i byggebransjen i dag. Et argument for at de tradisjonelle metodene kan oppleves som utilstrekkelig er at bygg og byggeplasser stadig blir større og mer komplekse og at det dermed blir vanskeligere å ha kontroll over hele produksjonen. På den andre siden er 3D skanningsprosessen opplevd som tidkrevende. Flere verktøy er også i liten grad tilrettelagt for direkte bruk som styringsverktøy. Imerso plattformen har imidlertid en side kalt «dashbord», hvor enkelte sentrale statistikker belyses. Denne siden kan blant annet benyttes til å se hvilke fag, etasje, eller område flest feil

oppdages. Siden kan også benyttes til å se hvilke type feil det oppdages flest av. Dette er informasjon som kan være nyttig for kvalitetsstyring allerede i dag.

Der intervjuobjektene i dag opplyser om at de i noen grad bruker 3D laserskanning for KS som et verktøy for kvalitetsstyring opplyser de også om at de i liten grad benytter verktøyet for fremdriftsstyring og sikkerhetsstyring. Mange av intervjuobjektene ser imidlertid potensial for bruk innen disse områdene i fremtiden. Mye kan tyde på at det er hyppigheten av skanningene som er den største barrieren til at verktøyet ikke blir brukt til fremdrifts- eller sikkerhetsstyring i dag. Intervjuobjektene har uttalt at de mener det krever en større mengde skanning for å gi en verdi. Dette krever imidlertid en mye større mengde ressurser og oppleves dermed som lite lønnsomt å benytte seg av i dag. Det finnes også lite tekniske løsninger for å visualisere det som faktisk er bygget opp mot fremdriftsplaner eller sikkerhetsstandarder. Dette gjør at intervjuobjekter mener det i dag er vanskelig å få til i praksis.

Skanningen av konstruksjoner har til en viss grad bidratt til en økning og forenkling av digital prosjektstyring. Modellene og 360 fotoene som ofte følger med skanningen bidrar til at enkle befaringer kan utføres i modellen. Flere intervjuobjekter mener enkle digitale befaringer kan bidra til at det er mindre nødvendig med like stor grad av fysisk tilstedeværelse på byggeplassen. Andre intervjuobjekter mener imidlertid at verktøyet i praksis ikke fører til noen endring i tilstedeværelse på byggeplassen. Dette kan blant annet begrunnes med at tilstedeværelsen i seg selv har en verdi i form av at kommunikasjonen opp mot håndverkerne blir bedre. Synlighet på byggeplassen viser også at ledelsen tar oppfølgingen av produksjonen seriøst. Et spørsmål som kan stilles er om en digitalisering av prosjektstyring kan ha en verdi for andre enn TE. Man kan blant annet se for seg at BH kan ha en verdi av å kunne følge opp produksjonen digitalt. Man kan argumentere med at de digitale modellene kan forbedre BH situasjonsforståelse og at det kan spare dem ressurser ved å unngå unødvendig reising ut til prosjektene. I tillegg kan man også tenke seg at UEr kan benytte modellene til å planlegge logistikk og løsninger i forkant av arbeidsstart.

Figur 5.7 viser en oversikt over årsaker til at prosjektstyringen kan forbedres ved bruk av 3D laserskanning for KS. Overordnede potensielle effekter av en bedre prosjektsstyring er også beskrevet.



Figur 5.7: Årsaker til og effekter av prosjektstyring.

5.2 Forutsetninger for 3D laserskanning for KS

Dette delkapittelet har til hensikt å diskutere det andre forskningsspørsmålet: «Hvilke forutsetninger er nødvendig for at 3D laserskanning for kvalitetssikring skal fungere optimalt?». Legger man Meyers et al. (2012) endringsprosess til grunn kan det sies at implementeringen av 3D laserskanning for KS har kommet til fase 4 i begge de studerte entreprenørkonsernene. Fase 4 handler om å forbedre de eksisterende prosessene slik at videre implementering blir suksessfull. Dette delkapittelets formål er derfor å danne ett grunnlag for anbefalinger rundt hvordan bruken av 3D laserskanning for KS kan optimaliseres ved å utarbeide prosesser og strategier som tar hensyn til sentrale forutsetninger og utfordringer.

5.2.1 Tilrettelagt BIM oppfølging

Krav til BIM modell

En BIM modell er en forutsetning for at 3D laserskanning for KS skal fungere. I dag stilles det allikevel ikke spesielle krav til BIM modellene for å tilpasse dem for verktøyet i noen av de studerte prosjektene. Resultater fra intervju og dokumentstudier tyder på at det kan oppstå flere utfordringer i grensesnittet mellom BIM og 3D laserskanning for KS. Samtidig er det en uenighet blant intervjuobjektene rundt hvorvidt dagens krav til BIM modellene er tilstrekkelige. Disse funnene gir et grunnlag for å stille spørsmål rundt hvorvidt dagens BIM manualer og prosedyrer er optimale for bruk av 3D laserskanning for KS.

En avgjørende faktor ved bruk av 3D laserskanning for KS er at det bygges etter de samme modellene som resultatet av skannen kontrolleres mot. I enkelte av de eldste prosjektene som ble studert var det eksempler på «falske avvik» som følge av at BIM modellen ikke stemte overens med tegningsunderlaget til håndverkerne. Etter disse prosjektene ble fullført har imidlertid begge konsernene innført BIM modellen som arbeidsunderlag i alle prosjekter uavhengig om 3D skanning benyttes. Det å benytte seg av BIM modellen som grunnlag for å hente ut 2D tegninger til håndverkerne på plassen er av flere intervjuobjekter sett på som en forutsetning for at 3D skanning for KS skal fungere på en hensiktsmessig måte.

En av faktorene hvor det er større uenighet mellom intervjuobjektene er rundt hvor nøyaktige og detaljerte BIM modellene bør være. På bakgrunn av en vektning av ressursbruk mot merverdi er intervjuobjektene enige om at det må settes en skjønnsmessig grense på nøyaktigheten. Det avgjørende spørsmålet blir dermed hvor denne grensen bør settes. Ved å se spørsmålet i sammenheng med 3D laserskanning og resultatene av avviksanalysen er det mulig å trekke enkelte slutninger. Ettersom resultatene av avviksanalysen tyder på at det er mest hensiktsmessig å skanne råbyggfasen samt tekniske hovedføringer så kan man argumentere for at det er mer avgjørende å detaljere disse objektene i modellen fremfor andre arbeider. Eksempelvis medfører feil i helning på en betongoverflate som regel en større konsekvens i form av kostnader og merarbeid i forhold til typiske slutfasearbeider som plassering av elektriske enkeltkomponenter. På bakgrunn av dette kan man argumentere for at detaljgrensen bør settes ulikt basert på faser og arbeider. Ser man dette i sammenheng med at de fleste intervjuobjektene ikke har problemer med feilavvik fordi de oppfattes som enkle å oppdage kan man argumentere for at det kun er en merverdi av å detaljere de nevnte områdene.

En annen faktor som enkelte intervjuobjekter ser på som viktig er hvordan og i hvilken grad modellene er oppbygd og oppdelt. I dag deles ofte modellen opp etter fag, etasjer og i enkelte tilfeller soner. Dette kan gi ett godt utgangspunkt dersom det brukes taktplaner hvor et fag gjør arbeidet i en sone av gangen. Slik kan en kvalitetssikre en sone ved overlevering mellom de ulike fagene. På den andre siden produseres ofte bygningskomponenter i flere omganger. Eksempelvis kan det oppstå problemer dersom BIM modellen viser stålsøyler med brannisolasjon dersom kun søylen uten brannisolasjon er bygget og skannet. Ettersom det skannes underveis i byggeprosessen vil det være fordelaktig å kunne fjerne objekter som enda ikke er produsert. En løsning på dette er å dele opp BIM modellen etter gjeldene fremdriftsplaner (som i litteraturen går under navnet 4D BIM). En slik oppbygning vil føre til riktig geometri på BIM modellen i forhold til skanningsresultatet samtidig som ulike materialer vil være skilt for eventuelle mengdeberegninger. En slik oppdeling kan dermed også benyttes til effektive og nøyaktige beregninger av materialbruk. Dette kan igjen brukes til å utføre kostnadsoverslag eller til å vurdere miljøpåvirkning. På en annen side kan det argumenteres for at en oppbygning med hensyn til fremdrift kan være tid- og kostnadskrevende å gjennomføre.

Samlet sett kan man argumentere for at objekter tilknyttet råbygg og hovedføringer ofte er av en enkel geometri med liten grad av detaljer. Detaljgraden på BIM modellen er derfor irrelevant i denne sammenheng. Samtidig kan man også argumentere for at «falske avvik» som følge av mangelfull oppdeling av BIM modeller er lette å oppdage visuelt i skanningsresultatene. I dag ser heller ingen av intervjuobjektene på det som hensiktsmessig å måle fremdrift med 3D skanningsløsninger. På bakgrunn av disse argumentene kan man påstå at dagens BIM manualer ofte er tilstrekkelige. Dette stemmer overens med hva flere av de mer erfarne intervjuobjektene mener. Ved å benytte dagens BIM manualer og eventuelt kun utfører mindre tilpasninger kan man også argumentere for at man forenkler implementeringsprosessen for de ansatte.

Utfordringene vedrørende BIM ved bruk av 3D laserskanning for KS har flere fellestrekk med kjente faktorer for å lykkes med BIM fra forskningslitteraturen. Standardisering av krav og prosesser for BIM legger til rette for at flere prosjekter kan gjennomføre skanning på samme måte. Dette kan videre føre til effektive prosesser. Ved å se utfordringene vedrørende BIM for 3D laserskanning i sammenheng med standardiseringsarbeidet som utføres av bransjeorganisasjoner som buildingSMART i dag ser man at usikkerhetsmomentene tilknyttet detaljnivå og BIM oppbygning er felles utfordringer. En kan dermed argumentere for at den pågående standardiseringen av BIM vil kunne forbedre mulighetene for bruk av BIM generelt og mulighetene for å utnytte 3D laserskanning for KS.

Kontinuerlig oppdatering av BIM modell

En sentral prosess for å skape verdi med 3D laserskanning for KS er å oppdatere BIM modellen etter hvert som avvik oppdages. Manglende oppdatering av BIM modell kan føre til kollisjoner ved andre fag senere i produksjonen som kan medføre forsinkelser og merkostnader. Resultater fra intervjuene tyder på at det på nåværende tidspunkt ikke er en enighet hverken mellom intervjuobjektene eller mellom entreprenør og prosjekterende rundt hvor ofte det er hensiktsmessig å oppdatere modellen. Dette gir et grunnlag for å stille spørsmål vedrørende hvor den optimale grensen for å oppdatere BIM modellen bør være.

I dag oppdateres som regel modellen med jevne mellomrom i prosjekteringsfasen før det etter hvert i produksjonsfasen kun oppdateres ved alvorlige avvik som krever nye beregninger av de prosjekterende.

Resterende avvik utbedres ved slutten av prosjektet. Det avgjørende spørsmålet når det kommer til om BIM modellen bør oppdateres oftere er om det oppstår en merverdi av at det brukes en større mengde ressurser underveis i prosjektet. Igjen syntes den avgjørende faktoren å være alvorlighetsgraden av avvikene som oppdages. Det kan dermed tenkes at det mest hensiktsmessige vil være å sette grensen ved de avvikene man vet medfører følgefeil senere i prosessen. Ved å legge resultatene fra avvikanalysen til grunn kan man argumentere for at avvik tilknyttet råbyggfasen og tekniske hovedføringer vil være lønnsomme å oppdatere så raskt som mulig ved avvik. Dette kommer av at disse avvikene er vurdert til å ha størst konsekvenser samtidig som de hyppigst oppdages med 3D laserskann.

Dersom man ønsker en hyppigere oppdatering av BIM modellen blir neste spørsmål hvordan denne endringen best mulig kan gjennomføres. Holdninger og arbeidskultur i bransjen trekkes frem av enkelte intervjuobjekt som en utfordring som hindrer kontinuerlig oppdatering av BIM modell. Ser man til litteraturen blir motstand mot endring av komfortable rutiner, kultur og struktur nevnt av Gressgård (2021) som karakteristikk ved BA-bransjen som skaper utfordringer for implementeringen av BIM. Fokusområdet bør være på hvordan det er mulig å bygge holdninger og bevissthet rundt behov og nytte av teknologien. I dette tilfellet vil det være å oppdatere BIM modellene fortløpende for å høste gevinsten av 3D laserskanning for KS. For å få til dette vil det være viktig å involvere de prosjekterende og opprettholde god kommunikasjon og informasjonsdeling.

Det finnes i dag funksjoner i programmene for 3D laserskanning for KS hvor det er mulig å overføre BCF filer med informasjon for å automatisk endre avvik mellom det som er bygget og BIM modellen. En bruk av denne løsningen kan være med å redusere ressursbruken som kreves av de prosjekterende. Løsningen kan dermed sies å senke terskelen for når avvik i BIM modellen bør oppdateres. Intervjuobjektene nevner imidlertid at denne løsningen i liten grad er tatt ordentlig i bruk av de prosjekterende. Resultater fra intervju tyder på at de prosjekterende ikke er opplyst om denne funksjonaliteten. Dermed utbedrer de avvik på tradisjonell måte. En bevisstgjøring rundt mulighetene som finnes ved programmene som brukes bør dermed sees på som lønnsomt for TE så vel som BH.

For å lykkes med skanner vil det være aktuelt å tidlig involvere prosjekterende for å fastsette krav og forventninger for 3D laserskanner for KS. Det anbefales at 3D laserskanning går inn som et punkt i kontrakten hvor det tydelig blir formulert hvordan de i prosjektet skal forholde seg til fortløpende omprosjektering. For TE kan det imidlertid være vanskelig å få fastsatt kontinuerlig omprosjektering som et punkt i kontrakt med rådgivende bedrifter. Dette kommer av at disse selskapene i stor grad organiserer arbeidene sine selv innenfor fastsatte grenser som prosjektering- og prosjektslutt. De er altså ikke vant til at aktører som TE fastsetter tidspunkt for når arbeid skal utføres.

Tabell 5.1 viser en sjekkliste over forutsetninger som bør være til stede for en optimalisert BIM oppfølging tilrettelagt for 3D laserskanning for KS.

Tabell 5.1: Sjekkliste over forutsetninger for BIM oppfølging tilrettelagt for 3D laserskanning for KS.

Forutsetningsfaktor	Validering
Er BIM modellen definert som arbeidsunderlag?	Ja/Nei
Er det satt en grense for BIM modellens nøyaktighet?	Ja/Nei
Er BIM modellen tilstrekkelig oppdelt?	Ja/Nei
Er BIM modellene standardisert mellom prosjektene?	Ja/Nei
Er det definert rutiner for oppdatering av BIM modell underveis i prosjektet?	Ja/Nei
Er det en plan for informering av muligheter ved 3D laserskann for KS til prosjekterende?	Ja/Nei
Er det en plan for tidlig krav og forventningsavklaring med prosjekterende?	Ja/Nei

5.2.2 Kompetent prosjektledelse

Prosjektledelsens medvirkning ses på som svært viktig for å lykkes med 3D laserskanning for KS. Litteratur om implementering trekker frem lederskap, opplæring av ansatte, organisasjonskultur, våkenhet på ny teknologi, kostnad og brukbarhet som kritiske suksessfaktorer som er relevante for prosjektledelsen (Silverio-Fernández et al., 2021). Funn fra intervju tyder på ulike holdninger og tilnærminger til 3D laserskanning internt i prosjektledelsen. Et sentralt spørsmål blir dermed hvordan prosjektledelsen bør involveres for å oppnå et optimalt resultat av 3D laserskanning for KS.

En grunnleggende utfordring som ble avdekket i intervjuene var at terskelen for å ta i bruk verktøyet blant flere var høy. På tross av at ett prosjekt som allerede hadde implementert verktøyet inviterte til demonstrasjoner ble ikke laserskanneren tatt i bruk av andre prosjekter i firmaet. På den andre siden har det også blitt sett eksempler på at erfaringsdeling mellom firma i konsernene har ført til at flere firma har tatt verktøyet i bruk. Ifølge litteraturen vil vellykkede implementeringer fra andre prosjekter føre til at beslutningstakere blir mer positive til å ta i bruk verktøyet selv. Har man et kritisk blikk på situasjonen så nevner litteraturen også at økte ferdigheter og kunnskap ikke nødvendigvis fører til en endring av ansattes holdninger eller fjerner endringsmotstand. Sett under ett kan man argumentere for at dette også gjør seg gjeldende for 3D laserskanning for KS.

Resultater fra denne studien kan tyde på at enkelte i prosjektledelsen vegrer seg for å ta del i prosessen rundt 3D laserskanning for KS. Merarbeid fører til lav motivasjon for bruk av 3D laserskanning som videre kan føre til at arbeidere går tilbake til gamle rutiner. I kvalitetsarbeidet som gjøres på byggeprosjekter kan det tenkes at prosjektledelsen allerede har gode eksisterende arbeidsprosedyrer de er komfortable med. Dette belyser en kjent utfordring ved implementeringen fra litteraturen. For å overkomme denne

utfordringen og få til den organisatoriske endringen kan en tilpasning av verktøyet, slik at det passer inn i de allerede eksisterende prosessene på byggeprosjektene, være et aktuelt tiltak. På denne måten vil det skje en mindre endring som gradvis kan bevege til å bli en omfattende digital transformasjon av arbeidspraksisen.

Manglende grunnkunnskaper og generell forståelse for teknologi er en kjent problemstilling ved digitalisering. Programmene som brukes oppfattes imidlertid som lite kompliserte av intervjuobjektene. Likevel vil det være nødvendig med en viss form for kursing og opplæring fordi arbeiderne i BA-bransjen er en gruppe med diversitet og dermed ulike dataferdigheter. Det virker å ligge klare fordeler i opplæring av de som er involverte med 3D laserskanning i prosjektene. Samtidig kan man også tilpasse prosesser slik at mindre datatekniske arbeidere bidrar i prosessen uten å delta i den tekniske delen av prosessen. God opplæring for de som gjennomfører 3D skanning til KS bidrar til at kvalitetsarbeidet oftere utføres riktig fra første stund. Dette kan bidra til å senke implementeringsmotstanden internt i prosjektledelsen.

Knyttet til kursing og opplæring kan det stilles spørsmål til hvor mye som er nødvendig for lykkes med 3D laserskanning for KS. På dette spørsmålet er det ikke noe entydig svar. Mengden opplæring vil være svært individuell hvor enkelte krever ingen til lite opplæring mens andre krever mye. Likevel kan det tenkes at det fra TE sin side som et minimum bør bli gitt et tilbud om introduserende kurs for prosjektledelsen. Selv om mange i dag har gode dataferdigheter vil det nok mest sannsynlig alltid være en læringskurve tilknyttet bruk av et nytt verktøy. Introduserende kurs vil derfor være aktuelt for alle som skal være involvert med bruken av 3D laserskanning for KS.

Videre kan det stilles spørsmål til hva som er den mest hensiktsmessige måten å gjennomføre opplæringen på. På samme måte som for mengden av opplæring vil dette også variere og bør tilpasses den enkelte bedrift. Det som er viktig å tenke på i den sammenheng er om man skal innhente ekspertise fra eksterne firma for å gjennomføre opplæringen eller om utvalgte i egen organisasjon skal stå for dette. Begge metodene vil kunne føre til samme resultat. Det handler mer om man har nødvendig ekspertise internt og om denne personen har anledning til å stille opp for opplæring av andre. Dersom man ikke har kompetanse i egen organisasjon vil det være nødvendig å hente inn en ekstern kursholder som gjerne kommer fra leverandøren av programvaren.

Retter man blikket mot prosjekter som allerede har tatt i bruk 3D laserskanning for KS tyder funn fra intervjuene på at det er viktig at prosjektledelsen støtter opp under bruken av verktøyet. For å oppnå en størst mulig verdi av skanningen er det sentralt å benytte seg av erfaringene prosjektledelsen har både rundt de ulike fagene og prosjektets historie. Motsatt vei bør også sentrale resultat og indikasjoner fra skanningen benyttes i prosjektstyringen. I den sammenheng er det viktig å opprettholde en tett kommunikasjon mellom prosjektledelsen og de som utfører selve skanningen. Det er flere ulike måter prosjektledelsen kan involveres. Sentrale tidspunkt kan være ved oppstartsmøter for å kartlegge skanningsmål og ved fremdrifts- og driftsmøter.

Tabell 5.2 viser en sjekkliste over forutsetninger som bør være til stede for å oppnå en kompetent prosjektledelse tilknyttet bruk av 3D laserskanning for KS.

Tabell 5.2: Sjekkliste over forutsetninger for prosjektledelsen ved bruk av 3D laserskanning for KS.

Forutsetningsfaktor	Validering
Er prosjektledelse opplyst om nytteverdien med skanning?	Ja/Nei
Er verktøyet tilpasset eksisterende arbeidsprosesser?	Ja/Nei
Har firmaet tilstrekkelig intern kompetanse til opplæring av prosjektledelsen?	Ja/Nei
Har prosjektledelse fått en tilstrekkelig mengde opplæring?	Ja/Nei
Er oppstartsmøter for å kartlegge skanningsmål planlagt?	Ja/Nei
Er prosjektledelsen engasjert nok til å støtte opp under bruken?	Ja/Nei

5.2.3 Involvering av UE

Et viktig spørsmål som ble tatt opp i resultatkapittelet er hvordan UE skal involveres i arbeidet med 3D laserskanning for KS. I resultatene presenteres to tilnærminger for å involvere UE. Den ene måten er å skanne i tett samarbeid med UE. Den andre måten er å utføre skanningen mer i skjul med større avstand til UE. Ser man til litteraturen så trekker Gressgård (2021) inn involvering av UE som et viktig punkt som det bør fokuseres på i implementeringsprosessen av BIM. Et spørsmål som dermed kan stilles er hvordan UE best kan involveres i 3D laserskanning for KS.

En måte å involvere UE er å utnytte deres kompetanse tilknyttet eget arbeid. Resultatene i denne studien tilsier at det på dagens tidspunkt ikke er hensiktsmessig å kvalitetssikre absolutt alt på byggeplassen med 3D laserskanning. Dette stemmer overens med utsagn tilknyttet omfang av kontroll i SINTEF Byggforsk (2020). I den sammenheng ses det på som sentral å utnytte UE sin kompetanse for å vurdere hvilke områder som er mest kritisk å skanne. Ett intervjuobjekt nevnte likevel at dette ikke fungerte i ett prosjekt hvor det ble testet ut ettersom responsen fra UE var liten. Flere intervjuobjekt nevner imidlertid at UE er nysgjerrige på bruken av 3D laserskanning i prosjektene. Dette kan tyde på at en bevisstgjøring av teknologien og dens nytteverdi er essensielt for å kunne utnytte kompetansen til UE på best mulig måte.

Et annet punkt som TE må ta stilling er hvilken aktør som skal utføre skanningen. På den ene siden kan man se på det som fordelaktig dersom UE gjennomfører skanningen. UE har størst kunnskap om egne arbeider. Man kan dermed argumentere for at de er best skikket til å utføre kontrollen. Samtidig ser også flere av intervjuobjektene på KS hovedsakelig som UE sitt ansvar. På den andre siden kan man stille spørsmål til UE sin kompetanse og motivasjon knyttet til skanning. Dersom hver enkelt UE skal utføre egen skanning av sine arbeider kan man også argumentere for at samhandlingsbiten med verktøyet kan

forsvinne. Basert på disse argumentene virker det som det i dag er mest hensiktsmessig at TE er ansvarlig for skanningen basert på at de har opparbeidet seg en kompetanse på skanning.

Uavhengig av valgt metode for involvering av UE tyder funn i studien på at kommunikasjon med UE rundt bruken av verktøyet er viktig. Dagens løsning, med bruk av programmer som Dalux for å kommunisere avvik, virker ifølge intervjuobjektene bra. Funn fra intervjuene tyder på at det er sentralt å holde informasjon enkel og konkret. Ved å kommunisere mer informasjon enn nødvendig risikerer man en økt tidsbruk og dårligere kommunikasjon, noe som videre kan føre til at UE kan miste motivasjonen for bruk av verktøyet.

Kostnadsfordeling mot UE

Flere intervjuobjekter ser utfordringer rundt grensesjiktet mellom 3D laserskanning for KS og UE sin egenkontroll. Ettersom TE sin KS i utgangspunktet kun skal være en kontroll av UE sine rutiner og arbeid kan man argumentere for at UE har et ansvar dersom det oppdages avvik. Usikkerhet rundt dette grensesjiktet har ført til at enkelte intervjuobjekter ikke ønsker å utføre omfattende KS med laserskanner ettersom de mener dette da tar over for mye av UE sitt ansvar for egenkontroll. Det er dermed foreslått flere løsninger for å fordele kostnadene for verktøyet.

Man kan tenke seg at flere aktører har nytte av at 3D laserskanning for KS blir tatt i bruk. Samfunnet generelt vil kunne ha en nytte dersom prosjekter blir gjennomført med mindre feil. På et prosjektnivå så vil man kunne argumentere for nytte for både BH og TE ettersom prosjektet potensielt unngår forsinkelser og kan oppnå en bedre kvalitet. Nyten for UE kan virke å være relativt lav. UE vil få en grundig dokumentasjon på hvordan de bygger, men ettersom denne dokumentasjonen i dag kun hentes og nyttes av TE blir den stort sett kun benyttet i saker hvor kostnader og skyld blir lagt på dem. Man kan også tenke seg at nytten for UE er ulik basert på størrelsen på arbeidet deres på prosjektet. Siden nytteverdien av verktøyet synes å variere for aktørene virker det hensiktsmessig å fordele kostnadene deretter. På denne måten kan det også være mulig å få med seg de litt mindre aktørene fordi kostnaden for dem ikke blir for stor. På den andre siden kan det argumenteres for at det er enklere å få med seg en større UE som har en stor entreprise på prosjektet i motsetning til de mindre UEene. Det kan tenkes at de mindre firmaene ikke har kapasitet i organisasjonen til å være med å utvikle og implementere nye arbeidsprosedyrer. En prioritering av de største aktørene passer også godt sammen med de anbefalte bruksområdene for 3D laserskanning som gjennom intervjuer og avviksanalysen er identifisert. Eksempelvis er betongentreprenene ofte store.

I intervjuene presenterte TE en løsning på kostnadsutfordringen hvor kostnadene for skanning ville bli overført til UE dersom de ikke gjennomførte tilstrekkelig egenkontroll. Denne løsningen er i stor grad kun gunstig for dem selv. Det er dermed vanskelig å tenke seg at UE vil gå med på en slik løsning. Ett intervjuobjekt mener imidlertid at det vil kunne være mulig å presse gjennom denne løsningen på bakgrunn av kontrakter med UE. En annen løsning TE presenterte var at eksempelvis fire aktører deler 25 % hver av kostnadene. På papiret kan en slik kostnadsfordeling virke som en grei løsning ettersom kostnaden for hver enkelt aktør dermed ikke blir stor. Det kan likevel argumenteres for at løsningen er urettferdig. Dette kommer av at det ikke nødvendigvis er slik at alle aktørene som er med på kostnadsfordelingen får samme gevinst av å utføre skanningen. Resultatene tilsier at det i flere tilfeller har vært TE sin intensjon å få bort mest mulig av kostnadene knyttet til skanning over på UE. Det kan

tenkes at TE vil videreføre mest mulig kostnader fordi de er utsatt for trange rammer i byggeprosjektene. På grunn av dette forsøker de å få mest mulig inntjening i prosjektene ved å sende kostnader videre. Dersom man forsøker å videresende mest mulig kostnader kan dette ha en negativ virkning som videre kan føre til et økt konfliktnivå i prosjektene.

Det kan uansett argumenteres for at UE skal ta en del i kostnadene av 3D laserskanning. Kvalitetskontrollen som fremkommer etter utført 3D laserskanning er som tidligere diskutert et arbeid som faller inn under UEs egenkontroll. Derfor kan det argumenteres for at UE selv må være med å dekke kostnaden ved skanningen fordi dette er arbeid som de i utgangspunktet skulle ha utført selv. På den andre siden så mener nok flere av UEene at skanningen ikke er nødvendig fordi de mener deres eksisterende egenkontroll er tilstrekkelig. Det kan dermed tenkes at UEene ikke vil ta i bruk 3D laserskanning for KS på egen hånd. Ifølge ett intervjuobjekt er det imidlertid mulig å fastsette at KS skal gjøres med 3D laserskanning med bakgrunn i dagens kontrakter og på denne måten pålegge UE til å ta i bruk verktøyet. Ved å presse gjennom bruk av verktøyet på denne måten kan man imidlertid argumentere for at man risikerer et dårligere samarbeidsklima i prosjektet. Dersom man legger dette argumentet til grunn kan man peke på viktigheten av å istedet fokusere på å bevisstgjøre UE av nytteverdien av verktøyet samt fordele den potensielle gevinsten.

Et mulig tiltak for å involvere og øke motivasjonen til UEene for bruk av 3D laserskanning for KS kan være å ta i bruk insentivordninger med bonus-malus. I slike ordninger vil gode resultater belønnes, men dersom man leverer dårlig kvalitet på arbeidet må UE betale for at det utføres 3D laserskanning. Det er likevel utfordringer ved slike løsninger. Et spørsmål som kan stilles er hvorfor man skal gi ut bonus for at en UE leverer en produsert kvalitet som TE har kontraktsfestet og dermed forventer. På den ene siden kan man argumentere for at prosjektet som helhet vil kunne gå bedre dersom alle gjennomfører egenkontrollen bedre slik at man unngår merkostnader og forsinkelser. På den andre siden er det svært vanskelig å måle hvilken lønnsomhet bedre egenkontroll har. Det kan dermed også være vanskelig å avgjøre hvilke satser, om det er noen, som fører til et bedre drevet prosjekt og lønnsomhet for involverte aktører.

En annen utfordring med slike insentivordninger er at det er vanskelig å fastsette spesifikke målbare grenser for når egenkontrollen er god nok, eller for dårlig, til å føre til bonus eller merkostnad for UE. Man kan også argumentere for at slike løsninger kun vil være lønnsomme dersom dårlig egenkontroll er årsaken til avvikene. Ut fra dagens tilgjengelige data er det vanskelig å trekke slutninger rundt denne sammenhengen. Trekker man inn omfanget av interne kvalitetsfeil og prosessforårsakede byggskader i BA-bransjen kan det likevel argumenteres for at en bonusløsning kan være aktuelt for å redusere omfanget av avvik. En bonusordning vil dog mest sannsynlig kun fungere i prosjekter hvor det faktisk skjer mye feil. En ulempe med bonusløsningen er at verktøyet vil kunne koste mer enn det burde ettersom sammenhengene mellom verktøyet og økt lønnsomhet er vanskelig å måle konkret. Dette heller mot å fraråde en ordning med bonus-malus.

En annen potensiell løsning er å ha et fokus på samspill i prosjektet som helhet. På denne måten vil gevinster og kostnader ved bruken av verktøyet indirekte deles basert på hele prosjektets suksess. Gressgård (2021) anbefaler samarbeidsbaserte kontrakter mellom flere aktører for å få en mer effektiv bruk av BIM i byggeprosjekter. Funn i denne studien bekrefter at dette også kan være representativt for bruken av 3D laserskanning for KS. Samarbeidsbaserte kontrakter kan føre til at aktørene i større grad

ønsker å benytte seg av de løsningene som fører til at prosjektet som helhet går godt. Man kan dermed argumentere for at løsningene rundt ansvar og kostnadsfordeling lettere løses.

Uavhengig av hvordan kostnadene for skanning fordeles kan det argumenteres for at det er hensiktsmessig å ha en oppstartsamlings med involverte UE hvor aktørene har mulighet til å avklare forventninger og rutiner, samt påvirke bruken av 3D laserskanning for KS. En tidlig og tydelig avklaring av rutinene for 3D laserskanning for KS er viktig for å gjøre aktørene bevisst på verktøyet og deres ansvar tilknyttet egenkontroll. Ved å tidlig kontraktsfeste hensiktsmessige mål for bruken av verktøyet kan man argumentere for at sjansen er større for at alle aktører vil følge de definerte rutinene og at prosjektet vil kunne gå bedre som helhet.

Tabell 5.3 viser en sjekklister over forutsetninger som bør være til stede for en optimalisert involvering av UE med hensyn til 3D laserskanning for KS.

Tabell 5.3: Sjekklister over forutsetninger ved involvering av UE for 3D laserskanning for KS.

Forutsetningsfaktor	Validering
Er UE bevisstgjort på nytteverdien av skanning?	Ja/Nei
Er en metode for involvering av UE besluttet?	Ja/Nei
Er det fastlagt rutiner for avvikskommunikasjon mot UE?	Ja/Nei
Er det en plan for tidlig krav og forventningsavklaring med UE?	Ja/Nei
Gjennomføres KS med insentiver eller samspill mot UE?	Ja/Nei
Er en hensiktsmessig kostnadsfordeling med UE fastsatt?	Ja/Nei

5.2.4 Integrering av skanning i bedriftens KS system

Resultater fra denne studien viser at det er flere ulike fremgangsmåter for 3D laserskanning for KS innad i de studerte konsernene. Dette kan blant annet sees i sammenheng med at det ikke finnes nedskrevne prosedyrer. En kan argumentere for at det er fordelaktig å inkludere 3D laserskanning i bedriftens KS system slik at verktøyets potensial kan utnyttes i hvert enkelt prosjekt. Videre diskuteres det hvordan 3D laserskanning for KS kan integreres i bedriftens KS system. Det tas utgangspunkt i et generelt KS system beskrevet i figur 3.11.

Det ses på som viktig med standardiserte arbeidsprosedyrer. Standardisering kan gjøre det enklere for de enkelte prosjektene å ta verktøyet i bruk. Dette kan dermed være en god støtte i bedriftens implementering av verktøyet. Samtidig bør man være oppmerksomme på at byggeprosjekter er unike og at hvert enkelt prosjekt dermed behøver en ulik tilnærming for KS. Et spørsmål som dermed kan stilles er hvilke føringer som bør bli satt på et bedriftsnivå og hvilke som bør bli satt på et prosjektnivå. Det er sentralt at føringer satt på firmanivå gir rom for tilpasning til prosjektet. Samtidig fører ulike prosedyrer for 3D laserskanning for KS i dag til at den eksisterende kompetansen om beste praksis for verktøyet ikke blir fulgt. Det hentes

i dag også lite datagrunnlag ut av prosessene for å kunne forbedre prosedyrene gjennom kontinuerlig læring. Det sees dermed på som fordelaktig å lage prosedyrer og hjelpedokumenter på et bedriftsnivå. Dette vil sikre at 3D laserskanning for KS blir vurdert i de ulike prosjektspesifikke planene og analysene. I tillegg fører det også til at statistikk kan hentes ut for å optimalisere prosessene ytterligere.

Kvalitetsplan

Kvalitetsplanen er et dokument som gir en overordnet oversikt over sentrale punkter i KS på det enkelte prosjektet. I maler eller hjelpedokumenter kan det være aktuelt å vurdere eller tilpasse for 3D laserskanning for KS. Avvik- og endringshåndtering er et av punktene tilpasninger kan bli utført. Her kan det beskrives hvordan avvik fra 3D laserskanning skal kommuniseres, lukkes og lagres for framtidig læring. Under punkt som omhandler kontraktsrettslige forhold kan man avklare at det skal holdes oppstartsmøter hvor det kan inkluderes hvordan UE skal involveres i forhold til 3D laserskanning for KS. Det kan også vurderes om skanningsverktøyet skal benyttes i overtagelse mellom ulike faser, områder, eller andre grensesjikt. Under punkt som omhandler sluttokumentasjon kan det også beskrives hvordan skanning skal brukes for dokumentasjon av kvalitet. Generelt bør firmaet også ha prosedyrer for deling av skanneren. Dette sikrer at prosjektene er klar over tilgangen på utstyr og basert på det kan lage tilstrekkelige planer for KS arbeidet.

Kontrollplan

En risikoanalyse inneholder en vurdering av risiko knyttet til kvalitet for spesielle arbeider og danner grunnlaget for kontrollplanen. 3D laserskanning kan være et verktøy som er med på å senke risiko ved arbeidsprosesser eller produsert arbeid. Verktøyet bør derfor tas til vurdering innenfor de fag og faser som erfaringene tilsier er mest effektive. En kontrollplan skal inneholde informasjon om hva som skal kontrolleres, hvem som skal kontrollere og hvordan det skal kontrolleres.

I forhold til hvem som eventuelt skal utføre skanningen er det også flere muligheter. Man kan enten legge til rette for at KS personellet ute på prosjektene skal gjennomføre skanningen eller at en støttegruppe skal gjennomføre den. Resultatene viser at begge fremgangsmåter har fungert i bedriftene med ulike fordeler og ulemper. Skal det skannes ofte i prosjekter kan resultatene tyde på at det mest hensiktsmessige er å bruke personell som er på prosjektet. Denne løsningen krever imidlertid mer opplæring og trening av personell og fører til mer omfattende endringer i arbeidsprosedyrer. Dersom det kun skal utføres skann av enkelte komponenter kan bruk av støttefunksjon være å foretrekke. Hvilken fremgangsmåte som passer best avhenger kort oppsummert om hva som er formålet med å bruke 3D laserskanning. Det sees imidlertid på som klokt at firmaene benytter seg av kun en av de mulige metodene ettersom resultatene fra studien tyder på at det fortsatt er nødvendig med økt kompetanse for 3D laserskanning for KS.

Det er viktig å definere hva man skal kontrollere med skanner og hva som skal gjøres med tradisjonell egenkontroll. Ved å legge funn fra avvikanalysen til grunn sammen med interne erfaringer fra bedriftene bør det utarbeides hjelpedokumenter som beskriver hvilke fag som bør vurderes kontrollert med 3D laserskanner for KS. Intervjuene og avvikanalysen presenterer at det mest hensiktsmessige på dagens tidspunkt vil være å utføre kontroll med skanning i en råbyggfase med fokus på utsparinger i betong, hovedføringer på tekniske komponenter og kritiske bygningskomponenter. Det kan argumenteres for at flere av komponentene kan være prosjektspesifikke og vil variere mellom prosjekter.

Man kan derfor argumentere for at det bør tas beslutninger vedrørende hva som bør kontrolleres på hvert enkelt prosjekt. Selv om det vil være forskjeller mellom prosjektene vil et rammeverk for bruken av 3D laserskanning kunne være til hjelp i implementeringsprosessen.

Statistikkføring

I et kvalitetssikringssystem er det essensielt å få ut rapporter og data på KS arbeidet som gjør det mulig å iverksette kvalitetsforbedrende tiltak og oppnå kontinuerlig læring. For å utføre kvantitative vurderinger av nytteverdien av 3D laserskanning for KS vil det være nødvendig å føre statistikk. Man kan også argumentere for at faste prosedyrer er nødvendig for at statistikken skal ha en tilstrekkelig reliabilitet. Bedriften bør legge til rette for at prosjektene fører riktig statistikk og at det blir gjort på samme måte over tid for at den skal kunne benyttes. Ved å inkludere 3D laserskanning i KS systemet kan man innarbeide rutiner i bedriften for dette.

Det kan stilles spørsmål til hvilke data og statistikk som er relevant å hente ut fra arbeidet med 3D laserskanning for KS. Ved å se spørsmålet i sammenheng med sentrale spørsmål og utfordringer som er avdekket i denne studien er det mulig å trekke frem flere muligheter. Statistikk som sier noe om avvikene verktøyet registrerer vil legge til rette for optimalisering av skanningsprosessen. Det vil være relevant å avdekke hvor mange avvik som finnes per skann, hvilke typer avvik som finnes, hvor avvikene finnes og når avvikene finnes. Det er også interessant å ha statistikk på hva som skjer etter avvikene finnes. Når utbedres avvikene og hvilke tiltak eller følger fører de til. Ved å få en bedre kjennskap til disse dataene vil det være mulig å utføre optimalisering av prosesser og mer nøyaktige lønnsomhetsvurderinger. Flere bedrifter har i dag prosedyrer for å føre statistikk fra blant annet KS og HMS. En kan dermed se på det som naturlig å integrere statistikk fra skanning med dagens løsninger for avviksstatistikk. En mulig løsning kan være å legge avvik funnet med skanner inn i et eget kategorisystem i Dalux, Imerso eller andre programmer. På denne måten kan man få en føring av hva som blir funnet med skanneren. Dette er informasjon som kan være sentralt for videre forskning og utvikling innen tema.

Tabell 5.4 viser en sjekklister over forutsetninger som bør være til stede for integrering av skanning i bedriftens KS system.

Tabell 5.4: Sjekklister over forutsetninger for integrering av skanning i bedriftens KS system.

Forutsetningsfaktor	Validering
Finnes det standardiserte arbeidsprosedyrer tilknyttet skanning?	Ja/Nei
Er skanning inkludert i kvalitetsplanen?	Ja/Nei
Er skanning inkludert i risikoanalysen?	Ja/Nei
Er skanning inkludert i kontrollplanen?	Ja/Nei
Er skanning inkludert i eksisterende statistikkføring for kontinuerlig forbedring?	Ja/Nei

5.2.5 Prosjektspesifikke planer

Resultatene fra denne studien tyder på at planer er sentralt for å oppnå fordelene med 3D laserskanning for KS. Planene bør legge til rette for at viktige verdier med verktøyet som tidlig oppdagelse av avvik, oppdagelsen av flere avvik, grundig dokumentasjon og større prosjektkontroll oppnås. Samtidig må også planene ta hensyn til utfordringer som tids- og ressursbruk og grensesjiktene mellom de ulike aktørenes og deres KS tilknyttet verktøyet. De prosjektspesifikke planene er viktig for å sikre at bedriftens prosedyrer for skanning blir tilpasset det enkelte prosjektet. Det kan imidlertid stilles spørsmål til hva de prosjektspesifikke planene bør inneholde.

Det er av flere årsaker viktig å knytte 3D laserskanning opp imot fremdriftsplanleggingen som gjøres i prosjektene. For å oppnå fordelene med tidlig oppdagelse er det viktig at skanning forekommer raskest mulig etter at arbeidene er utført. Det bør dermed planlegges for dette. Resultatene fra 3D laserskanning for KS påvirkes i tillegg av ryddighet på byggeplassen. Det ses dermed på som viktig å bruke systemer som opprettholder en viss ryddighet gjennom byggeprosessen. Planlegger man skanningen til et tidspunkt bør en vite at det er ryddig i det utvalgte området. Ved å eksempelvis knytte skanningen opp mot en taktplan vil man kunne oppnå en god ryddighet uten å endre fagarbeidernes rutiner. I de studerte bedriftene er rutinen i dag at sonen skal være ryddet ut før overtagelse. På dette tidspunktet er dermed både et fag sine arbeider nylig utført i tillegg til at sonen er ryddet. I råbyggfasen bør man tilsvarende forsøke å planlegge for å skanne tidligst mulig etter at forskaling og utstyr er fjernet. På en annen side kan man argumentere for at det i stedet er fordelaktig å skanne objekter uavhengig av soner. Dersom man for eksempel skal kontrollere utsparinger eller hovedføringer vil det gjerne være mer naturlig og effektivt å skanne flere på en gang. Dette må imidlertid sees i sammenhengen med hvor avgjørende det er med tidlig oppdagelse av eventuelle avvik for den gjeldende byggkomponenten.

I tillegg til å planlegge mot fremdrift bør det også planlegges hva som skal skannes. Begrensinger og utfordringer innen tidsbruk og bruksområde fører til at 3D laserskanning kun bør brukes på områder og elementer som innehar visse egenskaper. Skanning bør ikke brukes for å kontrollere små detaljer som raskere kan kontrolleres med tradisjonelle metoder. I stedet bør skanningen fokuseres mot avvikstyper beskrevet i avviksanalysen. I tillegg kan målet for skanningen bestemmes ut fra prosjektspesifikke faktorer. Dersom det er enkelte bygningselementer som er spesielt viktig eller spesielt utsatt for feil vil det være naturlig å skanne disse. På samme måte kan man benytte seg av 3D laserskanning for KS dersom man mistenker eller har problemer med ett arbeidslag eller ett spesifikt fag. Andre prosjektspesifikke faktorer kan også påvirke omfanget av hva som bør skannes. Prosjekttype samt prosjektets størrelse og varighet har en påvirkning. Resultatene har vist at det på dagens tidspunkt ikke er hensiktsmessig å skanne hele bygg ettersom dette kan være tids- og ressurskrevende i forhold til verdien man oppnår av avviksdeteksjonen. Områder med store åpne arealer er ikke like tidkrevende å skanne. Det kan dermed være naturlig å skanne mer her. På den andre siden kan det tenkes at det skjer færre avvik i store åpne rom på bakgrunn av en lavere densitet av komponenter. Dette er imidlertid ikke undersøkt i denne studien. I bygg med mange små rom som hoteller bør man basert på avviksanalysen derimot fokusere på utsatte komponenter i større grad. Man kan også argumentere for ulike skanningsstrategier basert på byggverkets størrelse. Dersom man antar at avvik oppstår med en gitt frekvens risikerer man at et avvik ikke oppdages dersom halvparten av et lite bygg skannes. På motsatt side vil det være større sannsynlighet for å oppdage den samme typen

avvik dersom man skanner halvparten av et stort bygg. Basert på disse argumentene kan man argumentere for at en fremgangsmåte med stikkprøver er mer relevant desto større bygget er.

En fordeling av roller i KS ansvaret innad i prosjektledelsen sees også på som sentralt. Resultater fra intervju og dokumentstudie tyder på at egne dedikerte ressurser som kan arbeide med skanning er fordelaktig for å bygge opp den nødvendige kompetansen. Samtidig bør den fag- og prosjektkunnskapen som finnes i prosjektledelsen benyttes for å planlegge for hva og når fag skal skannes, samt for å best mulig tyde skanningsresultatet. Dersom rollene ikke klargjøres er det eksempler fra intervju der 3D laserskanning for KS over tid blir nedprioritert ettersom ansvaret ikke er godt nok kartlagt. Ved at bedriften stiller krav til ansvarlige i ulike roller for skanning vil det kunne være enklere for prosjektene å sette av tilstrekkelig med ressurser til 3D laserskanning for KS.

Tabell 5.5 viser en sjekklister over forutsetninger som bør være til stede for å utarbeide prosjektspesifikke planer tilknyttet 3D laserskanning for KS.

Tabell 5.5: Sjekklister over forutsetninger for prosjektspesifikke planer ved bruk av 3D laserskanning for KS.

Forutsetningsfaktor	Validering
Har prosjektet et system for ryddig byggeplass?	Ja/Nei
Er skanning knyttet opp mot fremdriftsplanleggingen?	Ja/Nei
Er omfanget av skanningen planlagt?	Ja/Nei
Er hensiktsmessige mål for skanningen planlagt?	Ja/Nei
Er roller for KS ansvar fordelt på en hensiktsmessig måte?	Ja/Nei

5.3 Faktorer som påvirker lønnsomheten

I dette delkapittelet diskuteres det tredje forskningsspørsmålet: «Hvilke faktorer påvirker lønnsomheten ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring?». Formålet med kapittelet er å utforske sammenhenger for å utarbeide anbefalinger som kan fungere som en støtte til å utføre lønnsomhetsvurderinger av 3D laserskanning for KS. De påvirkende faktorene er valgt ut basert på data fra intervju, dokumentstudie, avviksanalyse og teori.

5.3.1 Kostnad av skanner og programvare

Kostnaden tilknyttet kjøp av selve 3D laserskanneren er som regel en engangssum. I tillegg kan også skannere leies. For å operere skanneren er det også vanlig å gå til innkjøp av en tablet. Prisen på skannerne varierer etter type skanner hvor ulike skannere har ulike egenskaper som passer for ulike formål. Selv om noen skannere har større rekkevidde og detaljgrad enn andre har det generelt vært gode tilbakemeldinger

fra intervjuobjektene på skannerne som er benyttet. Leica BLK360 syntes å være blant de mest populære. Denne skanneren har hatt en kostnad på rundt 200 000 kr.

I tillegg til selve 3D laserskanneren behøves det også en programvare for å sammenstille de ulike punktskyene til en modell for deretter å sammenligne modellen mot den prosjekterte BIM modellen. I de undersøkte prosjektene er programvarene Scaled Robotics og Imerso benyttet for 3D laserskanning for KS. Kostnadene tilknyttet programvaren ligger på rundt 20 000 kr i måneden. I tillegg til perioden laserskanneren benyttes aktivt er det også sentralt å ha tilgang til plattformen eller en mulighet for å eksportere modellene for oppbevaring gjennom prosjektenes reklamasjonstid.

Det knyttes liten usikkerheten for kostnadene av skanner og programvare i en lønnsomhetsanalyse. Dette begrunnes med at konkrete avtaler og priser vil kunne forhandles før innkjøp.

5.3.2 Firmaspesifikke faktorer

Flere faktorer som er relatert til firmaet og dets strategi for skanning kan argumenteres for å påvirke lønnsomheten av 3D laserskanning for KS. En av de mest sentrale faktorene her er antall prosjekter skanneren er delt på. Intervjuobjektene er alle enige om at det ikke er behov for en skanner på hvert prosjekt, og at det dermed er fordelaktig å dele skanneren mellom prosjekter i firmaet. Hvor mange prosjekter det er hensiktsmessig å dele skanneren mellom er i stor grad avhengig av hvor omfattende skanning som er planlagt utført på hvert prosjekt, samt hvilke faser de ulike prosjektene befinner seg i. Man kan også argumentere for at denne kostnadsfordelingen er så sentral at den også burde påvirke det planlagte omfanget av skanning på hvert prosjekt. Noen av intervjuobjektene kom også med anslag for hvor mange prosjekter de mente det var hensiktsmessig å dele skanneren mellom. Ved å sette anslag og deres resonnement i sammenheng med resultater fra avviksanalysen ansees det som hensiktsmessig å dele skanneren på mellom 3 til 10 prosjekter. Faktorer som omfang av bruk, størrelse på prosjektene og geografisk avstand mellom prosjektene vil her selvsagt spille en viktig rolle.

Det er fastslått at en viss opplæring av de ansatte er fordelaktig for å ta i bruk 3D laserskanning for KS. Kostnaden for opplæring kan variere basert på faktorer som prosjektledelsens generelle tekniske kompetanse og ut fra hvorvidt opplæringen utføres internt i firma eller med eksterne aktører. Basert på informasjon fra intervju antas det at kostnader tilknyttet opplæring vil føre til bedre resultater for 3D laserskanning for KS. Resultatene gjør dermed opp for kostnadene og gjerne mere til. Dersom firma tilegner seg rutiner for kontinuerlig læring antas det at en vil kunne se en større lønnsomhet ved bruken av 3D laserskanning etter hvert som kunnskapsnivået stiger og prosesser blir optimalisert basert på erfarte data. En større kompetanse i firmaet bidrar også til at en større del av opplæringen kan utføres internt. Dette kan bidra til ytterligere kostnadsreduksjoner over tid.

De firmaspesifikke faktorene, og dermed også kostnadsfordeling, kan avklares på forhånd og bør dermed kunne anslås med relativ stor nøyaktighet.

5.3.3 Prosjektspesifikke faktorer

Flere kostnadsfaktorer er direkte knyttet til det spesifikke prosjektet. Både prosjekttype, størrelse på prosjektet og prosjektets varighet er faktorer som med relativ stor sikkerhet er avgjort før prosjektstart.

Prosjektstørrelse og -varighet kan enkelt benyttes i en lønnsomhetsanalyse. Fastsetting av faktor for hvordan prosjektypen påvirker skanning ses derimot på som utfordrende.

Funn fra studien tyder på at ulike prosjektyper påvirker tid, kostnader, og dermed også lønnsomheten ved skanning. Prosjekter med mange små rom, som hoteller, vil være mer tidkrevende å skanne enn store åpne arealer som lagre, produksjonshaller og lignende. Ut fra studien er det imidlertid vanskelig å konkludere i hvor stor grad prosjektypen påvirker lønnsomheten ettersom relativt få prosjekter av ulike typer er studert. Man kan også argumentere at prosjektets strategi for skanning påvirker hvor stor forskjellen mellom de ulike prosjektypene er. Dersom man eksempelvis kun skanner betongkonstruksjonen trenger det ikke å ha noen betydning dersom et bygg har mange små rom adskilt med lettvegger.

Et spørsmål som kan stilles er hvorvidt større prosjekter er mer eller mindre lønnsomme å skanne enn små prosjekter. Det som er sikkert er at kostnadsfaktorene øker ettersom tidsbruken for skanning øker. Dermed øker også lønns- og programvarekostnader. Det er imidlertid større usikkerhet rundt hvorvidt størrelsen på prosjektene påvirker antallet feil som oppdages. Store prosjekter er ofte mer komplekse. Man kan dermed argumentere for at dette kan føre til flere avvik. På den andre siden kan man argumentere for at et større areal for kontroll gjør avvikene vanskeligere å oppdage. Dersom man har en strategi hvor man kun skanner elementer som er kritiske å kontrollere kan man også argumentere for at størrelsen på prosjektet ikke er av betydning.

5.3.4 Prosessrelaterte faktorer

Tilknyttet firmaet eller prosjektets KS systemer, planer og strategier er det flere prosessrelaterte faktorer som kan påvirke lønnsomheten. Hvilke faser som skal skannes avgjør omfanget av bruken. Avviksanalysen og intervjuer har også bidratt til at en har kunne fastslå at ulike faser har ulik lønnsomhet. Det er imidlertid vanskelig å gi konkrete vurderinger av hvor stor lønnsomheten er for de ulike fasene. Hvor ofte en planlegger å skanne påvirker også lønnsomheten. Studien har vist at det finnes ulike metoder for skanning hvor man ser ulike kostnader og gevinster ut fra hyppigheten av skanningen.

Hvem som skal utføre skanningen påvirker også kostnadene ved 3D laserskanning for KS. Dersom det er teknisk ansatte med lang erfaring fra byggeprosjekter kan man for eksempel forvente at disse har en høyere lønn enn en nyutdannet prosjektingeniør. Mye tyder på at kostnadene knyttet til lønn av dem som drifter skanningsprosessen er den største utgiftsposten tilknyttet bruk av verktøyet. Man kan allikevel forsvare noe av disse lønnskostnadene med at man uansett måtte ha betalt lønn for dem som skulle gjennomført tradisjonell KS. På den andre siden tyder funn fra studien på at KS med 3D laserskanning kan være mer tidkrevende enn tradisjonell KS, sett i sammenheng med omfanget. Dermed kan man argumentere for at lønnskostnadene vil være høyere ved KS med 3D laserskanner. I dag finnes det ingen oversikt over hvor lang tid, eller hvilke kostnader som er tilknyttet tradisjonell KS i firmaene. Det er dermed også vanskelig å sammenligne differanser i lønnskostnader.

En fordeling av kostnadene relatert til skanning internt i prosjektene vil også ha en påvirkning på lønnsomheten ved 3D laserskanning for KS. Ved å dele kostnader mellom flere aktører, som UE eller BH, vil lønnsomheten kunne økes for TE. Slik situasjonen er i dag så tyder resultatene på at kostnadsfordeling mot UE og BH ikke gjennomføres. Dersom det i fremtiden utvikles hensiktsmessige

kontrakter og prosedyrer for kostnadsfordeling kan man se for seg at det vil påvirke lønnsomheten i større grad.

5.3.5 Faktorer relatert til byggfeil

Den mest avgjørende faktoren for verktøyets lønnsomhet vil være hvor mange avvik som faktisk kan reduseres med 3D laserskanner for KS. For å undersøke dette sees det på som naturlig å sammenligne litteratur rundt forekomsten av interne kvalitetsfeil og prosessforårsakede byggskader mot avviksanalysen og erfaringer fra intervjuobjekter. Det er klart at forhold som hvilke typer feil som oppstår, når feilene oppstår, samt hvor stort omfanget er, vil være avgjørende for å sikre en nytte av 3D laserskanning for KS som kan forsvare kostnadene. Rundt disse forholdene er det imidlertid flere usikkerhetsmomenter.

Det er en usikkerhet i estimatene av interne kvalitetsfeil og prosessforårsakede byggskader som følge av at forskningen er fra 2008. Det kan stilles spørsmål til om studien fortsatt er representativ for dagens prosjektgjennomføring. Basert på SINTEF Byggforsk (2020) tyder mye på at hvert fall de prosessforårsakede byggskadene fortsatt er på samme nivå i dag. For de interne kvalitetsfeilene er det imidlertid større usikkerhet hvor SINTEF Byggforsk (2020) fastslår at mengden interne kvalitetsfeil kan ha gått ned for enkelte aktører. Hvor stor reduksjon det er snakk om er det imidlertid vanskelig å si noe om. Det kan imidlertid tenkes at entreprenører fører statistikk som sier noe om omfanget av interne kvalitetsfeil i sitt arbeid med kontinuerlig forbedring. Dermed kan hvert enkelt firma utføre vurderinger ut fra sine egne erfaringer.

Prosessforårsakede byggskader står for mellom 2-6 % av byggproduksjonen (Ingvaldsen, 2008). Ser man disse tallene i sammenheng med funn fra avviksanalysen kan man slå fast at kun enkelte av disse prosessforårsakede byggskadene kan oppdages med 3D laserskanning for KS. Litteraturen peker også på at kun 31 % av de prosessforårsakede byggskadene er i kategorien andre komponenter. Disse komponentene er ikke relatert til klimaskjermen. Avvik som ikke er knyttet til posisjon og geometri vil ikke kunne oppdages med verktøyet. Byggskader relatert til klimaskallet er som regel fuktrelatert, og vil dermed som regel ikke kunne oppdages med skanner. Ser man på hvilke avvikstyper andre komponenter ikke relatert til klimaskjermen er bygd opp av ser man at flere av feilene ofte ikke vil kunne oppdages ettersom endringer i geometri først oppstår etter en viss tid er gått. Eksempler på dette er ved underdimensjonering som kan føre til sprekker eller nedbøying over tid etter last er påført samt slitasje og overbelastning. Andre feil som monteringsfeil kan man derimot argumentere for at man i enkelte tilfeller kan oppdage med skanneren. Man kan i enkelte tilfeller også argumentere at disse kan føre til byggskader relatert til klimaskjermen. Dersom man trekker inn at avvik tilknyttet enkelte faser og arbeider oppdages oftere enn andre kan man dermed argumentere for at de fleste av de prosessforårsakede byggskadene ikke vil oppdages med 3D laserskanning i byggeproduksjonen.

Funn i denne studien peker på at mesteparten av avvikene som oppdages med 3D laserskanning uansett ville blitt oppdaget underveis i produksjonen bare ved en senere anledning. Dermed kan man også her argumentere for at avvikene som bli funnet med 3D laserskanning for KS ikke er prosessforårsakede byggskader, men derimot avvik som rettes opp før overlevering til BH. Slike avvik kategoriseres som interne kvalitetsfeil. De interne kvalitetsfeilene er anslått til å være på mellom 3-7 % av byggeproduksjonen (Ingvaldsen, 2008). Det er innen denne kategorien det antas at flest feil potensielt

kan oppdages med 3D laserskanning for KS. Det finnes ingen publisert fordeling av avvikstyper innen de interne kvalitetsfeilene og det er dermed vanskelig å gjøre nøyaktige anslag på hvor stor del av disse som kan oppdages. Det er imidlertid også her sikkert at en andel av de interne kvalitetsfeilene ikke vil oppdages som følge av at de ikke gir geometriske utslag eller som følge av at de oppstår i en fase hvor det ikke sees på som hensiktsmessig å skanne.

Det er også viktig å ta i betraktning alvorlighetsgraden av avvikene som identifiseres ved 3D laserskanner. Spørsmålet blir dermed om det er slik at de oppdagede avvikene står for en stor prosentandel av de interne kvalitetsfeilene fordi de er kostbare skader. På dette spørsmålet er det vanskelig å trekke noen klare slutninger ettersom opphavet til de interne kvalitetsfeilene er dårligere dokumentert enn de prosessforårsakede byggskadene. Et spørsmål som kan stilles er om avvik knyttet til geometriske toleranser påfører like store kostnader som andre typer avvik. Funn i studien tyder på identifikasjon av enkelte geometriske avvik, som eksempelvis en feilplassert bjelke, har potensiale til å redusere kostnadene av interne kvalitetsfeil betydelig. Disse avvikene oppdages imidlertid sjelden. På den andre siden er avvikene som oppdages oftest, som feil i utsparinger og feilplasserte tekniske føringer, som regel lite kostbare feil.

Tabell 5.6 viser en oversikt over faktorer som påvirker lønnsomheten av 3D laserskanning for KS. Tabellen viser også estimert sikkerhet for anslag av de ulike faktorene.

Tabell 5.6: Oversikt over lønnsomhetsfaktorer og mulig sikkerhet for anslag.

Lønnsomhetsgruppe	Lønnsomhetsfaktor	Sikkerhet for anslag
Kostnad skanner og programvare	Skanner	Høy sikkerhet
	Programvare	Høy sikkerhet
Firmaspesifikke faktorer	Prosjekter skanner er delt mellom	Høy sikkerhet
	Opplæring av ansatte	Høy sikkerhet
Prosjektspesifikke faktorer	Prosjekttype	Middels sikkerhet
	Prosjektstørrelse	Middels sikkerhet
	Prosjektvarighet	Høy sikkerhet
Prosessrelaterte faktorer	Faser som skannes	Middels sikkerhet
	Hyppighet av skanning	Middels sikkerhet
	Lønnskostnader	Høy sikkerhet
	Fordeling av kostnader mellom aktører	Høy sikkerhet
Faktorer relatert til byggefeil	Totalt antall byggefeil	Lav sikkerhet
	Verdi av byggefeil det er mulig å utbedre	Lav sikkerhet

5.4 Teknologisk utvikling

I dette delkapittelet presenteres og diskuteres hvordan den teknologiske utviklingen og digital transformasjon kan påvirke ulike utfordringer som er identifisert med 3D laserskanning for KS, og gi en større nytteverdi. Formålet med kapittelet er å utforske hvordan lønnsomheten ved 3D laserskanning for KS vil kunne endres i fremtiden som følge av teknologisk utvikling og den pågående digitaliseringen av byggebransjen ofte omtalt som Construction 4.0.

Allerede i dag ser man at lønnsomhetsterskelen er senket på grunn av en utvikling innen 3D laserskanningsteknologien som har ført til bedre og rimeligere utstyr. Dersom 3D laserskanning for KS i større grad blir tatt i bruk av BA bransjen vil dette medføre inntekter for utviklere. Økte inntekter for utviklere kan fungere som en akselerator av teknologien, som igjen kan gi vesentlige endringer for lønnsomheten til brukerne. Dette kan også føre til at bedriftenes strategi og prosesser tilknyttet 3D laserskanning for KS må endres for å oppnå en optimalisert bruk.

5.4.1 Robotisering

Resultatene fra denne studien tyder på at tiden prosessene ved 3D laserskanning for KS tar er en av de største utfordringene med verktøyet. Flere ser på det som tid- og mannskapskrevende både å gjennomføre skanningen og prosessere resultatene av skanningen. En reduksjon av tidsbruken og kostnadene tilknyttet denne vil kunne medføre til endringer både i omfang av bruk og i lønnsomhet.

Det er nærliggende å tenke seg at bruk av roboter for skanning kan redusere tidsbruken for skanning betraktelig. I motsetning til menneskelige arbeidere vil en robot kunne ha mulighet til å benytte seg av hele døgnet, fridager og lignende. På denne måten kan man oppnå en hyppigere og mer omfattende skanning. Dette kan potensielt muliggjøre en utvidet bruk av dataen, for eksempel innen fremdrifts- og sikkerhetsstyring. Det kan også utjevne kostnadsforskjeller ved ulike typer bygg.

Et spørsmål som dermed kan stilles er om robotisering av skanningsprosessen er sannsynlig i fremtiden. Generelt har man sett at robotikk har hatt en stor utvikling i andre bransjer som prosessindustrien. Man kan imidlertid argumentere for at det er flere utfordringer for en robot som skal arbeide selvstendig på en byggeplass. Byggeplasser er unike av natur noe som kan gjøre det til et utfordrende miljø å tilpasse roboter for. Det kan også oppstå utfordringer med tanke på fremkommelighet ettersom arbeider, materialer og utstyr blir flyttet rundt på plassen. I tillegg består som regel byggeplasser av ulike nivåer og etasjer. Dette er utfordringer som kan være med å forklare hvorfor man har sett relativt lite forskning rundt robotisering i byggebransjen. I dag ser man imidlertid at flere firma har utviklet roboter som skal kunne gjennomføre skanning uten at disse enda har blitt tatt i bruk i stor grad. Forskningslitteratur beskriver også at det er utviklet AI løsninger for å finne optimale skanningsruter og posisjoner for oppstilling. Sett under ett kan man dermed argumentere for at en videre utvikling kan føre til robotiserte løsninger for skanning i fremtiden.

5.4.2 Automatisering

Lang prosesseringstid for behandling av data og avviksdeteksjon er en identifisert utfordring. Spesielt den delen av prosessering og deteksjon som krever menneskelig kontroll oppfattes som tidkrevende. Denne utfordringen vil også kunne øke ytterligere dersom for eksempel robotisering fører til et økt omfang av skanning. AI løsninger benyttes allerede av programvaren som benyttes for 3D laserskanning for KS. Man kan imidlertid tenke seg at videreutvikling kan medføre en økt bruk av AI hvor større deler av prosesseringen blir automatisert. Det at AI teknologi allerede er benyttet i programvaren som benyttes, sett i sammenheng med en enorm vekst i forskning innen området, gjør at man kan argumentere for at AI kan påvirke 3D laserskanning for KS ytterligere i fremtiden.

Dersom man henter inn data over lang tid vil maskinlæring etter hvert kunne føre til at dataene og prosessene blir bedre og raskere. På denne måten kan en kan hente ut mer presis statistikk som krever mindre menneskelig kontroll. Denne statistikken kan igjen brukes til å optimalisere planer for fremdrift, kvalitet, sikkerhet, risikostyring og generelt områder som er påvirket av faktorer tilknyttet det fysiske bygget. Statistikken kan også brukes for å utføre simuleringer av ulike scenario basert på ulike ytre faktorer. Man kan også se for seg at programmene etter hvert kan komme med forslag til løsninger på spesifikke avvik basert på data fra en mengde tidligere prosjekter. En annen mulighet er at de kan sammenstille den visuelle dataen automatisk opp mot relevante standarder og manualer som eksempelvis Norsk Standard eller Byggforskserien. På denne måten vil en kunne spare menneskelige ressurser fra å utføre tidkrevende repeterende arbeid.

På en annen side kan man også se utfordringer med automatiseringen. Allerede i dag kan man sette spørsmål rundt hvorvidt den automatiske avvikskontrollen faktisk er til å stole på. Ettersom man foreløpig bruker 3D laserskanning for KS som et supplement til egenkontroll kan man argumentere for at avvikskontrollen har tilstrekkelig troverdighet. Etter hvert som ytterligere automatisering kan bli tatt i bruk og enkelte prosesser kan tenkes å bli fullstendig automatisert og maskinstyrt kan troverdigheten av resultatene derimot få en mye større betydning, og dermed være en hindring for videre utvikling.

5.4.3 Nøyaktighet og kvalitet på skanningsresultatet

Gjennom intervjuer har det blitt belyst at det har forekommet feil i skanningsresultatet og den automatiske avviksdeteksjonen. Feilene oppstår som følge av forstyrrelser på byggeplassen i form av utstyr, verktøy og rot. Innenfor dette området er det nærliggende å tenke at AI løsninger som benytter seg av maskinlæring og datasyn kan forbedre resultatene ved å kunne gjenkjenne støy. Scaled Robotics har allerede tatt i bruk en AI løsning for fjerning av støy som ifølge intervjuobjektene skal fungere. Man ser imidlertid at det oppdages flere «falske» avvik med denne løsningen fortsatt.

Unøyaktighet og feil i resultater som følge av matte overflater, vannspeil og støv på linsen har også gitt feil på skanningsresultatene. Også her er det nærliggende å tenke at AI løsninger kan gjenkjenne de ulike feilkildene. Man kan også tenke seg at laserskannerne kan utvikles ytterligere, eller at dyrere og mer avanserte skannere vil kunne bli tatt i bruk på sikt, og at man dermed unngår flere slike feil.

5.4.4 Interoperabilitet

Forskning viser at teknologisk mangfold er en av de mest sentrale utfordringene ved implementering av BIM-verktøy. Dette kan også sees i sammenheng med implementering av 3D laserskanning for KS. Ettersom det i dag benyttes et mangfold av programmer og tekniske løsninger oppstår det utfordringer dersom disse ikke kan kommunisere med hverandre. Det teknologiske mangfoldet fører dermed til interoperabilitetsutfordringer. Ved manglende interoperabilitet vil brukervennligheten til verktøyet igjen oppfattes som dårligere. Flere intervjuobjekter har sett ett forbedringspotensial i hvordan programmene tilknyttet 3D laserskanning for KS snakker med andre allerede etablerte programmer. Det gjelder både for distribusjon av avviksmeldinger i programmer som Dalux, samt for kontroll og redigering av modeller i programmer som Solibri og Revit. Ved å etablere samhandlingsmuligheter mellom

programmene vil tidsbruken gå ned. Det vil også kunne senke terskelen for å ta verktøyet i bruk ved at brukervennligheten for verktøyet øker.

Imerso har i senere tid lagt til en funksjon der programmet automatisk skal komme med forslag til rettelser av BIM modellen i forhold til faktisk skannet posisjon ved hjelp av BCF-filer. Bruken av åpne filformat som BCF muliggjør at filen kan åpnes i andre programmer. En kan tenke seg at brukervennligheten hadde økt betraktelig dersom det i en ytterligere grad blir mulig å eksportere data fra programmene med åpne filformater også for andre funksjoner. På den andre siden kan det tenkes at programutviklerne ønsker å tilby tjenester som avviksbehandling selv internt i programmet. Dette kan igjen føre til en lavere interoperabilitet.

Tabell 5.7 viser en oppsummering av teknologier som har potensial til å løse utfordringer, og dermed øke nytteverdien av skanning for KS, i fremtiden.

Tabell 5.7: Teknologier som kan utvikles til å løse utfordringer ved 3D laserskanning for KS i fremtiden.

Utfordringer	Teknologi
Tidkrevende skanning	Robotisering, AI, maskinlæring, datasyn
Tidkrevende prosessering	AI, maskinlæring
Tidkrevende avviksdeteksjon	AI, maskinlæring
Tidkrevende kommunikasjon av avvik	AI, maskinlæring
Støy i skann	AI, datasyn
Manglende interoperabilitet	Standardisering, åpen BIM
Tidkrevende oppdatering av BIM modeller	AI, åpen BIM

5.4.5 Konkurrerende teknologi

Den teknologiske utviklingen bør sees i sammenheng med at det også vil skje en teknologisk utvikling innenfor konkurrerende teknologi. Teknologi som fotogrammetri, stasjonære sensorer og utvidet virkelighet (AR) er eksempler på verktøy som kan benyttes i sammenheng med KS. I dag syntes imidlertid disse teknologiene å ikke dekke det samme bruksområdet. Det er imidlertid ikke utenkelig at annen teknologi får en større plass i KS arbeidet i fremtiden. Det sees også muligheter ved å kombinere enkelte av disse teknologiene. Eksempelvis kan man i fremtiden tenke seg at AR kan benyttes for å visualisere avvikene funnet ved bruk av 3D laserskanning for KS i sanntid på byggeplassen.

Fotogrammetri og 360 foto løsninger kan i dag sees på som blant de viktigste konkurrerende teknologiene. Verktøyene oppleves som raskere og enklere å benytte seg av for å få en visuell oversikt over ett område i forhold til 3D laserskanning, men man får derimot ikke sammen nøyaktighet som ved 3D laserskanning. Dersom denne teknologien blir utviklet videre slik at den blir mer nøyaktig kan den tenkes å ta over 3D laserskannerens plass som sensor for automatiserte metoder for avviksdeteksjon. Samtidig kan man også argumentere for at 3D laserskanning vil kunne være å foretrekke i større grad dersom denne teknologien utvikler seg til å bli raskere og enklere og benytte seg av. Man kan imidlertid argumentere for at de flere av funnene i denne studien vil være gjeldende uavhengig av hvilken sensor som benyttes.

Konklusjon

Dette kapittelet gir svar på problemstillingen gjennom de fire forskningsspørsmålene som er formulert i kapittel 1. Avslutningsvis gis det anbefalinger for videre arbeid innenfor forskningsområdet.

Denne studien har identifisert optimaliseringsmuligheter for 3D laserskanning for KS. Verdiskapende momenter med 3D laserskanning er identifisert og 3D laserskanning for KS er sammenlignet med tradisjonell KS. Nødvendige forutsetninger ved bruk av 3D laserskanning for KS og faktorer som påvirker lønnsomheten er kartlagt. Til slutt er det forklart hvordan teknologisk utvikling kan bidra til økt lønnsomhet for verktøyet. Konklusjonen i oppgaven er trukket på bakgrunn av analyse av data fra intervjuer, dokumentstudie og avviksanalyse som er sett i sammenheng med det teoretiske rammeverket fra litteraturstudien.

6.1 3D laserskannings påvirkning på KS

Følgende delkapittel svarer på det første forskningsspørsmålet: «Har byggeprosjekter som benytter seg av 3D laserskanning for kvalitetssikring bedre kvalitetssikring enn prosjekter med tradisjonell form for kvalitetssikring?»

Basert på funn i denne studien kan man konkludere med at 3D laserskanning for KS og tradisjonelle former for kvalitetssikring har ulike fordeler og ulemper som medfører at begge metodene bør benyttes, men til ulike kontroller og formål. Funnene viser at prosjektene som har benyttet seg av 3D laserskanning for KS som et tillegg til tradisjonell KS har oppnådd en bedre kvalitetssikring.

Ved å benytte seg av 3D laserskanning for KS har prosjekter oppdaget flere avvik. Avvikene har også blitt oppdaget tidligere. 3D laserskanning kan raskt kontrollere relativt store arealer med høy nøyaktighet. Bruk av verktøyet kan imidlertid oppleves som tidkrevende ved enkle punktkontroller eller ved skanning av store bygg hvor en grundig kontroll ikke behøves. Man oppnår en detaljert dokumentasjon av de skannede områdene. Dokumentasjonen er i form av modeller som kan gi en god oversikt over situasjonen rundt avvikene. Modellene kan benyttes til å ta mål og detaljerte kontroller mot det prosjekterte. Ettersom 3D laserskanning fører til et større omfang av dokumentasjon og nøyaktige som-bygget modeller kan prosjektledelsen oppnå en bedre kontroll over byggeplassen, noe som videre kan forbedre prosjekt- og kvalitetsstyringen. 3D laserskanning fanger imidlertid kun opp avvik relatert til geometri og overflater. Det er dermed fortsatt nødvendig med tradisjonell KS på flere områder.

Tradisjonelle former for kvalitetssikring er en rimelig metode hvor man raskt kan kontrollere spesifikke elementer eller større områder med en forholdsvis lav nøyaktighet. Ved detaljerte kontroller av større arealer eller overflater med dårlig tilkomst kan imidlertid tradisjonelle former for KS være tidkrevende. Tradisjonelle former for KS kan også være utsatt for menneskelige feil, alt etter kompleksitet og omfang på arbeidet. Dokumentasjonen som oppnås ved tradisjonell KS innbefatter som regel kun bilder og beskrivelse av avvik.

Det er registrert store forskjeller i størrelser og betydning av fordelene og ulempene ved 3D laserskanning for KS mellom de ulike prosjektene. Dette viser at det finnes potensial for å optimalisere bruken av verktøyet.

6.2 Forutsetninger for 3D laserskanning for KS

Følgende delkapittel svarer på det andre forskningsspørsmålet: «Hvilke forutsetninger er nødvendig for at 3D laserskanning for kvalitetssikring skal fungere optimalt?»

Basert på funn i denne studien konkluderes det med at følgende forutsetninger er nødvendige for å sikre en større gevinst ved bruk av 3D laserskanning for KS:

- Tilrettelagt BIM oppfølging, herunder krav til BIM modell og kontinuerlig oppdatering av BIM modell.
- Kompetent prosjektledelse, herunder sikring av kompetanse gjennom opplæring og bevisstgjøring av nytteverdi.
- Involvering av UE, herunder involveringspraksis og kostnadsfordeling.
- Integrering av skanning i bedriftens KS system, herunder kvalitetsplan, kontrollplan og statistikkføring.
- Prosjektspesifikke planer, herunder integrering av verktøyet i prosjektets fremdriftsplaner.

En innføring av forutsetningene bidrar til å standardisere prosedyrer for 3D laserskanning for KS. De standardiserte prosedyrene muliggjør og legger opp til informasjonsuthenting for ytterligere optimalisering av prosedyrer for bruken av verktøyet i framtiden.

6.3 Faktorer som påvirker lønnsomheten

Følgende delkapittel svarer på det tredje forskningsspørsmålet: «Hvilke faktorer påvirker lønnsomheten ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring?»

Basert på funn i denne studien kan det konkluderes med at følgende faktorer påvirker lønnsomheten for bruk av 3D laserskanning for KS:

- Kostnad av skanner og programvare.
- Firmaspesifikke faktorer, herunder antall prosjekter skanneren er delt på og kostnad av opplæring.

- Prosjektspesifikke faktorer, herunder prosjekttype, størrelse og varighet.
- Prosessrelaterte faktorer, herunder lønn til skanningpersonell og kostnadsfordeling.
- Faktorer relatert til byggefeil, herunder hvor stor andel avvik som faktisk kan reduseres og effekten av disse.

Det er på nåværende tidspunkt ikke mulig å utføre en detaljert lønnsomhetsvurdering av 3D laserskanning for KS. Det kommer av at det forbindes en stor usikkerhet rundt faktoren for hvor stor andel av avvik som er mulig å utbedre tidlig med skanner. Usikkerheten rundt faktoren kommer av en rekke prosessorienterte mangler:

- Det finnes ikke felles prosesser eller planer for hvordan skanningen blir utført i praksis hverken for det enkelte firma, konsern eller bransje. Lønnsomheten er dermed lite sammenlignbar mellom de ulike prosjektene.
- Prosjektene fører lite til ingen form for statistikk på funn av avvik med 3D laserskanner.

6.4 Teknologisk utvikling

Følgende delkapittel svarer på det fjerde forskningsspørsmålet: «Hvordan kan teknologisk utvikling gi større nytteverdi ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring?»

3D laserskanning for KS er et nytt verktøy hvor man i dag ser, og allerede har sett, en stor teknologisk utvikling. Resultatene av denne studien må dermed sees i sammenheng med at det med stor sannsynlighet vil skje forbedringer av verktøyet som vil påvirke prosedyrer, lønnsomhet og gevinst ved bruk av verktøyet.

Funn i denne studien viser at flere av de identifiserte utfordringene med 3D laserskanning for KS kan løses ved teknologisk utvikling. Med fremskritt innen AI ser man for seg at både innhenting av data og behandlingen av data vil bli mer automatisert enn det er i dag. De teknologiske fremskrittene vil være med på å senke brukerterskelen ved verktøyet i tillegg til at de kan øke lønnsomheten.

Utvikling innen maskinlæring kan føre til at både databehandling og prosesser blir bedre og raskere ved at programmene kan gjenkjenne støy og andre kilder til unøyaktige resultater. Teknologisk utvikling kan også føre til at programmene selv identifiserer avvik ved å sjekke opp mot relevante standarder for så å komme opp med utbedringer og løsninger på ulike avvikstyper.

Roboter kan muliggjøre en hyppigere og mer omfattende skanning, noe som kan føre til at 3D laserskanning for KS også kan brukes innen fremdrifts- og sikkerhetsstyring. En økt bruk av roboter kan føre til at kostnadsforskjeller ved ulike bygningstyper utjevnes.

Økt interoperabilitet anses som et område hvor videre utvikling av verktøyet har et potensiale. Dersom verktøyene tilrettelegger for deling av informasjon med allerede implementerte plattformer kan prosesser som distribusjon av avviksmeldinger og oppdatering av BIM modeller effektiviseres.

Det vil med stor sannsynlighet også skje teknologisk utvikling for konkurrerende verktøy. En teknologisk utvikling innen teknologier som fotogrammetri og 360 foto kan føre til at disse verktøyene

blir mer nøyaktighet og dermed representerer utfordrere til 3D laserskanningsteknologien. En kombinasjon av 3D laserskanningsteknologi og annen konkurrerende teknologi under utvikling, som eksempelvis AR, kan også føre til en større nytteverdi for verktøyet.

6.5 Videre arbeid

Gjennom arbeidet med den studien har det dukket opp flere punkter som kan være interessante for videre forskning.

Erfaringer og kunnskap som er samlet inn i denne studien gir en forståelse og dybde rundt 3D laserskanning for KS som muliggjør utformingen av en større kvantitativ studie av flere aktører. Basert på denne kunnskapen er det grunnlag for å utforme spissede spørsmål og problemstillinger. Kvantitativ informasjon kan gi en økt presisjon og et sterkere grunnlag for analyse slik at prosesser for optimalisering kan konkretiseres ytterligere.

En naturlig videreføring av arbeidet i denne oppgaven kan være en studie av pilotprosjekter hvor prosedyrer basert på anbefalinger fra denne studien er benyttet. Det kan være interessant å se hvordan ulike prosedyrer kan påvirke brukerne av verktøyet. Dersom det i tillegg blir ført avviksdata i flere prosjekter vil det være mulig å utføre analyser rundt hvordan ulike prosedyrer påvirker resultatene av 3D laserskanning for KS.

For å fastsette 3D laserskannings lønnsomhet kan en sammenlignende studie mellom kostnader og lønnsomhet tilknyttet tradisjonell KS opp mot KS med 3D laserskanning være nyttig. I dag er det vanskelig å gjøre konkrete vurderinger av lønnsomheten ettersom man ikke vet den konkrete effekten av å oppdage feil med 3D laserskanning er i kroner og øre. For å kunne si noe om lønnsomheten sees det derfor på som nødvendig å utføre studier som fastsetter tidsbruken og kostnadene ved tradisjonell KS som utgangspunkt.

Denne oppgaven har i hovedsak fokusert på 3D laserskanning for KS ut fra et totalentreprenørperspektiv. Funn fra intervjuer tyder på at også andre aktører kan oppnå en gevinst med 3D laserskanning for KS. Studier med utgangspunkt i byggherren eller underentreprenørers perspektiv på 3D laserskanning for KS kan dermed også være interessant.

Et annet interessant forskningsområde er automatisering og robotisering. Det kan i den sammenheng være aktuelt å forske på integrering av 3D laserskanning med annen teknologi som eksempelvis roboter. Siden man ser at roboter allerede i dag testes ut på byggeplasser kan det være aktuelt å følge denne implementeringsprosessen videre.

Funn fra intervjuer viser at grensesjiktet mellom UE sin egenkontroll og TE sin KS medfører flere utfordringer for TE ved bruk av 3D laserskanning for KS. Det kan dermed være interessant å studere områder som ansvar, kostnadsfordeling og kontrakter tilknyttet 3D laserskanning for KS nærmere.

Referanser

- Akinosho, T. D., Oyedele, L. O., Bilal, M., Ajayi, A. O., Delgado, M. D., Akinade, O. O. & Ahmed, A. A. (2020). Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations. *Journal of Building Engineering*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101827>
- Arksey, H. & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8, 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Atkinson, R. (2015). Organizational Change Management: An Essential Part of the Service Management Journey. Hentet 27. november 2021, fra <https://www.thinkhdi.com/~media/HDICorp/Files/White-Papers/whtppr-0915-org-change-mgmt.pdf>
- Atuahene, B., Kanjanabootra, S. & Gajendran, T. (2020). Benefits of Big Data Application Experienced in the Construction Industry: A Case of an Australian Construction Company. *Proceedings of the 36th Annual ARCOM Conference*, 346–355.
- Binjin, C., Shouyan, Y., Xin, Y., Qichen, J. & Xin, L. (2018). A Novel Construction Quality Control and Management Method Based on BIM and 3D Laser Scanning Technology. *2018 International Conference on 3D Immersion (IC3D)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/IC3D.2018.8657840>
- Biswas, H. (2020). Automatic Planning for Scanning: Optimizing 3D Laser Scanning Operations Using BIM and TLS. *IAENG International Journal of Computer Science*, 46.
- Blumberg, B., Cooper, D. R. & Schindler, P. S. (2014). *Business Research Methods* (4. utgave). McGraw Hill.
- Bolton, C., Machová, V., Kováčová, M. & Valášková, K. (2018). The Power of Human-machine Collaboration: Artificial Intelligence, Buisniess Automation, and the Smart Economy. *Addleton Academic Publishers*, 13(4), 51–56.
- Boston Dynamics. (2020). Game Changing Automation: Six Steps for Implementing Agile Mobile Robots. Hentet 13. november 2021, fra <https://www.altohelix.com/wp-content/uploads/2021/08/Boston-Dynamics-eBook-Game-Changing-Automation.pdf>
- Boton, C., Rivest, L., Ghnaya, O. & Chouchen, M. (2021). What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28, 2331–2350. <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09457-7>
- Bowen, G. A. (2009). Document Analysis as a Qualitative Research Method. *Qualitative Research Journal*, 9(2. utgave), 27–40. <https://doi.org/10.3316/QRJ0902027>
- Bryman, A. (2016). *Social Research Methods* (5. utgave). Oxford University Press.
- buildingSMART. (u.å.). BIM Collaboration Format (BCF). Hentet 20. april 2022, fra <https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf/>
- Busch, T. (2013). *Akademisk skriving for bachelor- og masterstudenter*. Fagbokforlaget.

- Cao, L. (2021). How Does Spot Work? The Robot That Compares Design to Reality at the Construction Site. Hentet 23. mai 2022, fra <https://www.archdaily.com/954784/how-does-spot-r-work-the-robot-that-compares-design-to-reality-at-the-construction-site>
- Charef, R., Alaka, H. & Emmitt, S. (2018). Beyond the Third Dimension of BIM: A Systematic Review of Literature and Assessment of Professional Views. *Journal of Building Engineering*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.04.028>
- Dalland, O. (2017). *Metode og oppgaveskriving for studenter* (6. utgave). Gyldendal akademisk.
- Darko, A., Chan, A. P. C., Adabre, M. A., Edwards, D. J., Hosseini, M. R. & Ameyaw, E. E. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. *Automation in Construction*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081>
- DBH publiseringskanaler. (2021). Om kanalregisteret | Kanalregisteret. Hentet 7. oktober 2021, fra <https://dbh.nsd.uib.no/publiseringskanaler/Om>
- DiBK. (u.å.). Kapittel 6.2. Åpent og lukket avvik i Temaveileder uavhengig kontroll. Hentet 22. mai 2022, fra <https://dibk.no/saksbehandling/kommunalt-tilsyn/temaveiledninger/temaveileder-uavhengig-kontroll/6.-handtering-av-avvik/6.2.-apent-og-lukket-avvik/>
- DiBK. (2016a). Kapittel 10 Krav til kvalitetssikring i Byggesaksforskriften (SAK10) med veiledning. Hentet 22. mai 2022, fra <https://dibk.no/regelverk/sak/3/10/innledning/>
- DiBK. (2016b). Kapittel 5 Søknad og dokumentasjon i Byggesaksforskriften (SAK10) med veiledning. Hentet 22. mai 2022, fra <https://dibk.no/regelverk/sak/2/5/5-5/>
- Eisenhardt, K. M. & Graebner, M. E. (2007). Theory Building from cases: Opportunities and Challenges. *Academy og Management*, 50, 25–32.
- Elsevier. (2021a). About Scopus - Abstract and citation database | Elsevier. Hentet 6. oktober 2021, fra <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>
- Elsevier. (2021b). Ei Compendex | Most complete Engineering Database. Hentet 6. oktober 2021, fra <https://www.elsevier.com/solutions/engineering-village/content/compendex>
- Flick, U. (2004). Triangulation in Qualitative Research. I E. v. Kardoff, I. Steinke & U. Flick (Red.), *A Companion to Qualitative Research*. SAGE.
- Frías, E., Díaz-Vilariño, L., Balado, J. & Lorenzo, H. (2019). From BIM to Scan Planning and Optimization for Construction Control. *Remote Sensing*, 11. <https://doi.org/10.3390/rs11171963>
- Frøjd, K. (2018). Denne roboten kan gi lavere boligpriser. Hentet 23. mai 2022, fra <https://www.tv2.no/a/10249342/>
- Fullan, M. (2016). *The NEW Meaning of Educational Change* (Fifth edition). Teachers College Press.
- G2 Metrics. (2022). FARO - Terrestrial scanner Focus S150 / S350 Plus. Hentet 23. mai 2022, fra <https://www.g2metric.co.il/product/faro-laser-scanner-focus-s150-s350/>
- Gressgård, L. J. (2021). Organisatorisk forhold med betydning for adopsjon, implementering og bruk av BIM: En kunnskapsoppsummering. *NORCE Samfunn*, (8), 26.
- Hamledari, H., Davari, S., Azar, E., McCabe, B., Flager, F. & Fischer, M. (2018). UAV-Enabled Site-to-BIM Automation: Aerial Robotic- and Computer Vision-Based Development of As-Built/As-Is BIMs and Quality Control. *Construction Research Congress 2018*. <https://doi.org/10.1061/9780784481264.033>

- Helsingfors Universitet, Reaktor, Feed, NTNU & Norwegian Open Artificial Intelligence Lab. (2018). Elements of AI. Hentet 6. desember 2021, fra <https://www.elementsofai.com/no/>
- Hjelseth, E. (2017). BIM understanding and activities, 3–14. <https://doi.org/10.2495/BIM170011>
- Hjelseth, E. (2019). Seksjon om informasjonsledelse og BIM. I T. Tollnes & E. Hjelseth (Red.), *BIM! Program og prosess*.
- Hooda, Y., Kuhar, P., Sharma, K. & Verma, N. K. (2021). Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry. *Journal of Physics: Conference Series, 1950*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1950/1/012062>
- Hossan, M. & Nadeem, A. (2019). Towards digitizing the construction industry: state of the art of construction 4.0. 6. <https://doi.org/10.14455/ISEC.res.2019.184>
- Imerso. (2020). Brukermanual: Automatic Deviation Detection [Tilgjengelig i programvareplattform].
- Ingvaldsen, T. (1994). *Byggskaedomfanget i Norge - Utbedringskostnader i norsk bygge-/eiendomsbransje - og erfaringer fra andre land* (Prosjektrapport Nr. 163). Byggforsk.
- Ingvaldsen, T. (2008). *Byggskaedomfanget i Norge (2006) - En vurdering basert på et tidligere arbeid og nye data* (Prosjektrapport Nr. 17). SINTEF Byggforsk.
- Ingvaldsen, T. & Edvardsen, D. F. (2007). *Effektivitetsanalyse av byggeprosjekter - Måle- og analysemetode basert på referansetesting av 122 norske boligprosjekter fra perioden 2000-2005* (Rapport Nr. 1). SINTEF Byggforsk.
- Institutt for bygg- og miljøteknikk. (2021). Veiledning og krav til fagtekster ved IBM. Hentet 17. desember 2021, fra <https://www.ntnu.no/wiki/display/ibm/IBM+-+Prosjekt-+og+masteroppgave%2C+hovedprofilvalg?preview=/103909570/209456314/Veiledning%20rapportskriving.pdf#IBM-Prosjekt-ogmasteroppgave,hovedprofilvalg-Masteroppgave>
- Jazzar, M. E., Urban, H., Schranz, C. & Nassereddine, H. (2020). Construction 4.0: A Roadmap to Shaping the Future of Construction. *ISARC Proceedings*, 1314–1321.
- Jevarunen, N. (2021). *Bruk av 3D laserskanning i byggeprosjekter for kvalitetssikring i produksjonsfasen* (Masteroppgave). Universitet i Stavanger. <https://hdl.handle.net/11250/2781495>
- Josephson, P.-E. & Björkman, L. (2011). *31 recommendations for increased profit: reducing waste*. Centre for Management of the Built Environment, Chalmers University of Technology.
- Kalsaas, B. T., Trond, B. & Ole Jonny, K. (2017). Produksjon og prosjekter - flyt og verdiskaping i bygg- og anleggsnæringen. I B. T. Kalsaas (Red.), *Lean Construction: Forstå og forbedre prosjektbasert produksjon* (2. opplag, s. 19–32). Fagbokforlaget.
- Kalyan, T. S., Zadeh, P. A., Staub-French, S. & Froese, T. M. (2016). Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango. *Procedia Engineering, 145*, 1416–1423. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.178>
- Karan, E., Asgari, S. & Mohammadpour, A. (2020). Applying Artificial Intelligence within the AEC Industry: Collecting and Interpreting Data, 792–801. <https://doi.org/10.1061/9780784482865.084>
- Karmakar, A. & Delhi, V. S. K. (2021). Construction 4.0: what we know and where we are headed? *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 26, 526–545. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.028>
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2020). *Nasjonal strategi for kunstig intelligens* (Nasjonal strategi).

- Levac, D., Colquhoun, H. & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: advancing the methodology. *Implementation Science*, 5, 69. <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>
- Liu, J., Xu, D., Hyyppä, J. & Liang, Y. (2021). A Survey of Applications With Combined BIM and 3D Laser Scanning in the Life Cycle of Buildings. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, 5627–5637. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3068796>
- Lædre, O. (2009). *Er det noen sak? Forebygging og håndtering av tvister i bygg- og anleggsprosjekter*. Tapir Akademisk Forlag.
- Matterport. (2022). Media Kit. Hentet 23. mai 2022, fra <https://matterport.com/media-kit>
- Mergel, I., Edelmann, N. & Haug, N. (2019). Defining digital transformation: Results from expert interviews. *Government Information Quarterly*, 36(4. utgave). <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.06.002>
- Meyers, D. C., Durlak, J. A. & Wandersman, A. (2012). The Quality Implementation Framework: A Synthesis of Critical Steps in the Implementation Process. *American Journal of Community Psychology*, 50(3-4), 462–480. <https://doi.org/10.1007/s10464-012-9522-x>
- Mohammadpour, A., Karan, E. & Asadi, S. (2019). Artificial Intelligence Techniques to Support Design and Construction. <https://doi.org/10.22260/ISARC2019/0172>
- Maalek, R., Lichti, D. D. & Ruwanpura, J. Y. (2019). Automatic Recognition of Common Structural Elements from Point Clouds for Automated Progress Monitoring and Dimensional Quality Control in Reinforced Concrete Construction. *Remote Sensing*, 11(9. utgave), 1102. <https://doi.org/10.3390/rs11091102>
- Norsk Standard. (2015). Ledelsessystemer for kvalitet: Grunntrekk og terminologi (ISO 9000:2015).
- NTNU Universitetsbiblioteket. (2017). Finne kilder. Hentet 5. oktober 2021, fra <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Finne+kilder>
- Olsson, N. (2017). Kvalitet og Lean - to sider av samme sak? I B. T. Kalsaas (Red.), *Lean Construction: Forstå og forbedre prosjektbasert produksjon* (2. opplag, s. 385–416). Fagbokforlaget.
- Osmundsen, K., Iden, J. & Bygstad, B. (2018). Hva er digitalisering, digital innovasjon og digital transformasjon? En litteraturstudie. *Norsk konferanse for organisasjoners bruk av IT*, 26.
- Panenkov, A., Lukmanova, I., Kuzovleva, I. & Bredikhin, V. (2021). Methodology of the theory of change management in the implementation of digital transformation of construction: problems and prospects. *E3S Web of Conferences*, 244. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124405005>
- Perrier, N., Bled, A., Bourgault, M., Cousin, N., Danjou, C., Pellerin, R. & Roland, T. (2020). Construction 4.0: a survey of research trends. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 25, 416–437. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.024>
- Randall, T. (2011). Construction Engineering Requirements for Integrating Laser Scanning Technology and Building Information Modeling. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10), 797–805. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000322](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000322)
- Reaktor Education. (2021). AI for Built Environment. Hentet 8. desember 2021, fra <https://courses.minnalearn.com/en/courses/ai-for-built-environment/>
- Rebolj, D., Pučko, Z., Babič, N. Č., Bizjak, M. & Mongus, D. (2017). Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring. *Automation in Construction*, 84, 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.021>

- Rocha, G. & Mateus, L. (2021). A Survey of Scan-to-BIM Practices in the AEC Industry—A Quantitative Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8. utgave), 564. <https://doi.org/10.3390/ijgi10080564>
- Rolfsen, C. N., Lassen, A. K., Han, D., Hosamo, H. & Ying, C. (2021). The use of the BIM-model and scanning in quality assurance of bridge constructions. *ECPPM 2021 – eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*.
- Sabri, O. K. & Torp, O. (2022). Corrective and Preventive Action Plan (CAPA) for Disputes in Construction Projects: A Norwegian Perspective. *Infrastructures*, 7(5), 63. <https://doi.org/10.3390/infrastructures7050063>
- Samset, K. (2015). *Prosjekt i tidligfasen: Valg av konsept* (2. utgave). Fagbokforlaget.
- Schia, M. H., Trollsås, B. C., Fyhn, H. & Lædre, O. (2019). The Introduction of AI in the Construction Industry and Its Impact on Human Behavior, 903–914. <https://doi.org/10.24928/2019/0191>
- Sherratt, F., Dowsett, R. & Sherratt, S. (2020). Construction 4.0 and its potential impact on people working in the construction industry. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Management, Procurement and Law*, 173(4. utgave), 145–152. <https://doi.org/10.1680/jmapl.19.00053>
- Silverio-Fernández, M. A., Renukappa, S. & Suresh, S. (2021). Strategic framework for implementing smart devices in the construction industry. *Construction Innovation*, 21(2. utgave), 218–243. <https://doi.org/10.1108/CI-11-2019-0132>
- SINTEF Byggforsk. (2020). Unngå byggskader. Hentet 19. mai 2022, fra <https://www.sintef.no/community/fagblogg/poster/unnga-byggskader/>
- Tidemann, A. (2021). Mønstergjenkjenning. Hentet 7. desember 2021, fra <http://snl.no/m%C3%B8nstergjenkjenning>
- Tjora, A. (2010). *Kvalitative forskningsmetoder i praksis*. Gyldendal Akademisk.
- Todsén, S. (2018). Produktivitetsfall i bygg og anlegg. Hentet 21. april 2022, fra <https://www.ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/artikler-og-publikasjoner/produktivitsfall-i-bygg-og-anlegg>
- Wang, Q., Guo, J. & Kim, M.-K. (2019). An Application Oriented Scan-to-BIM Framework. *Remote Sensing*, 11(3. utgave), 365. <https://doi.org/10.3390/rs11030365>
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE '14*, 1–10. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- Woo, J., Shin, S., Asutosh, A., Li, J. & Kibert, C. (2021). An Overview of State-of-the-Art Technologies for Data-Driven Construction.
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research: Design and Methods* (4. utg.). SAGE.
- Aase, P. & Egeland, M. M. (2021a). *Bruk av ny teknologi i BA-bransjen: Med fokus på kunstig intelligens og 3D laserskanning opp mot BIM*. (Prosjektoppgave). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Aase, P. & Egeland, M. M. (2021b). *Litteratursøkrappport: Søk og evaluering av kilder til prosjekt- og masteroppgave*. (Litteratursøkrappport). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Vedlegg

A	Litteraturstudie	1
A.1	Litteratursøk, Compendex/Scopus	1
A.2	Litteratursamling, Første filtrering	4
A.3	Litteratursamling, Sortert søk	6
A.4	Litteratursamling, Citation chaining	8
A.5	Litteratursamling, Andre ervervede kilder	9
A.6	Litteratursamling, Backwards snowballing	9
A.7	Litteratursamling, Endelig samling 1	10
A.8	Litteratursamling, Evaluering	12
A.9	Ervervet litteratur våren 2022	26
B	Intervjuguide	1
B.1	Intervjuguide, Hoved	1
B.2	Intervjuguide, Sekundær	5
C	Avviksanalyse	1

A | Litteraturstudie

A.1 Litteratursøk, Compendex/Scopus

Database	Søkefrase (Alle felter)	Filter	Antall treff	Relevante treff	Sortert etter	Forfatter	Tittel	År	Utgiver	Konklusjon
Compendex	"Artificial intelligence" AND "construction industry"	Dokumenttype: alle. Språk: engelsk	571	-	Relevans					For mange treff. Søk må ytterligere spesifiseres.
Compendex	"Artificial intelligence" AND "construction industry" AND "project management"	Språk: engelsk. År: 2015-nå	28	5	Relevans	Relevant litteratur:				
						Hooda, Yaman; Kuhar, Preeti; Sharma, Kaushal; Verma, Neeraj Kumar	Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry	2021	IOP Publishing Ltd	Relevant for videre undersøkelse
						Atuahene, Bernard Tuffour; Kanjanabootra, Sittimont; Gajendran, Thayaparan	Benefits of big data application experienced in the construction industry: A case of an Australian construction company	2020	Association of Researchers in Construction Management	Relevant for videre undersøkelse
						Zhang, Huwei	Intelligent building planning system based on bim and artificial intelligence	2020	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	Relevant for videre undersøkelse
						Akinosho, Taofeek D.; Oyedele, Lukumon O.; Bilal, Muhammad; Ajayi, Anuoluwapo O.; Delgado, Manuel Davila; Akinade, Olugbenga O.; Ahmed, Ashraf A.	Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations	2020	Elsevier Ltd	Relevant for videre undersøkelse
						Martínez-Barrera, Gonzalo; Beycioğlu, Ahmet; Gencil, Osman; Subaşı, Serkan; González-Rivas, Nelly	Artificial intelligence methods and their applications in civil engineering	2015	IGI Global	Relevant for videre undersøkelse
Compendex	"AI" AND "AEC industry"	Språk: engelsk. År: 2015-nå.	10	9	Relevans	Relevant litteratur:				
						Darko, Amos; Chan, Albert P.C.; Adabre, Michael A.; Edwards, David J.; Hosseini, M. Reza; Ameyaw, Ernest E	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities	2020	Elsevier B.V.	Relevant for videre undersøkelse
						Karan, Ebrahim; Asgari, Sadegh; Mohammadpour, Atefeh	Applying Artificial Intelligence within the AEC Industry: Collecting and Interpreting Data	2020	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Relevant for videre undersøkelse
						Raghavi, V.; Gowtham, R.	AI based semantic extensibility and querying techniques for building information model	2019	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	Relevant for videre undersøkelse
						An, Yi; Li, Haijiang; Su, Tengxiang; Wang, Yitong	Determining Uncertainties in AI Applications in AEC Sector and their Corresponding Mitigation Strategies	2021	Elsevier B.V.	Relevant for videre undersøkelse
						Mohammadpour, A.; Karan, E.; Asadi, S.	Artificial intelligence techniques to support design and construction	2019	International Association for Automation and Robotics in Construction I.A.A.R.C	Relevant for videre undersøkelse
						Woo, Junghoon; Shin, Sangyun; Asutosh, Ashish T.; Li, Jiaxuan; Kibert, Charles J.	An Overview of State-of-the-Art Technologies for Data-Driven Construction	2021	Springer	Relevant for videre undersøkelse
						Liu, Ning; Kang, Byung Gyoo; Zheng, Yu	Current trend in planning and scheduling of construction project using artificial intelligence	2018	Institution of Engineering and Technology	Relevant for videre undersøkelse
						Gilner, Ewa; Galuszka, Adam; Grychowski, Tomasz	Application of artificial intelligence in sustainable building design - Optimisation methods	2019	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc	Relevant for videre undersøkelse

						Dawood, Huda ; Siddle, Jonathan ; Dawood, Nashwan	Integrating IFC and NLP for automating change request validations	2019	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	Relevant for videre undersøkelse
Compendex	"AI" AND "Construction industry"	Språk: engelsk	142	-	Relevans					For mange treff. Søk må ytterlige spesifiseres.
Compendex	"AI" AND "Construction industry" AND "Experience"	Språk: engelsk	13	3	Dato	Relevant litteratur:				
						Kartam, Nabil A.; Levitt, Raymond E.	Intelligent planning of construction projects	1990	American Society for Civil Engineers	Relevant for videre undersøkelse
						Schia, Marte H.; Trollsås, Bo C.; Fyhn, Håkon; Lædre, Ola	The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior	2019	The International Group for Lean Construction	Relevant for videre undersøkelse
						Elzomor, Mohamed; Pradhananga , Piyush; Santi, Gabriella; Vassigh, Shahin	Preparing the future workforce of architecture, engineering, and construction for robotic automation processes	2020	American Society for Engineering Education	Relevant for videre undersøkelse
Compendex	"Construction 4.0"	Språk: engelsk	39	8	Relevans	Relevant litteratur:				
						Karmakar, Ankan; Delhi, Venkata Santosh Kumar	Construction 4.0: What we know and where we are headed?	2021	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	Relevant for videre undersøkelse
						Boton, Conrad; Rivest, Louis; Ghnaya, Oussama; Chouchen, Moataz	What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort	2021	Springer Science and Business Media B.V.	Relevant for videre undersøkelse
						Perrier, Nathalie; Bled, Aristide; Bourgault, Mario; Cousin, Nolwenn; Danjou, Christophe; Pellerin, Robert; Roland, Thibaut	Construction 4.0: A survey of research trends	2020	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	Relevant for videre undersøkelse
						Muñoz-La Rivera, F.; Mora-Serrano, J.; Valero, I.; Oñate, E.	Methodological- Technological Framework for Construction 4.0	2021	Springer Science and Business Media B.V.	Relevant for videre undersøkelse
						Sherratt, Fred; Dowsett, Ruth; Sherratt, Simon	Construction 4.0 and its potential impact on people working in the construction industry	2020	ICE Publishing	Relevant for videre undersøkelse
						Jazzar, Mahmoud El; Urban, Harald; Schranz, Christian; Nassereddine , Hala	Construction 4.0: A roadmap to shaping the future of construction	2020	International Association on Automation and Robotics in Construction (IAARC)	Relevant for videre undersøkelse
						Venkatasubramanian, Karthik	Machine learning set to play a key role in the transition to Construction 4.0	2020	ICE Publishing	Relevant for videre undersøkelse
						Hossain, Md Aslam; Nadeem, Abid	Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0	2019	ISEC Press	Relevant for videre undersøkelse
Compendex	"digital" AND "Construction industry" AND "implementation"	Språk: Engelsk	232	-	Relevans					For mange treff. Må filtrere ytterligere
Compendex	"digital transformation" AND "Construction industry" AND "implementation"	Språk: Engelsk. År: 2008-2015	22	4	Relevans	Relevant litteratur:				
						Panekov, Andrey ; Lukmanova, Inessa ; Kuzovleva, Irina ; Bredikhin, Vladimir	Methodology of the theory of change management in the implementation of digital transformation of construction: Problems and prospects	2021	EDP Sciences	Relevant for videre undersøkelse
						Shirokova, Svetlana ; Solovyov, Leonid ; Gnatenko, Elizaveta ; Lohyeeta, Nadia	Implementation of the digital transformation concept during decision-making process in a construction company. Digital transformation as a driver of strategic decision-making in a commercial organization	2020	Association for Computing Machinery	Relevant for videre undersøkelse
						Silverio-Fernández, Manuel Alexander ; Renukappa, Suresh ; Suresh, Subashini	Strategic framework for implementing smart devices in the construction industry	2021	Emerald Group Holdings Ltd.	Relevant for videre undersøkelse

						Asaul, Veronika ; Pesotskaya, Elena	Innovative technologies in construction: International experience and problems of incorporation in Russia	2018	IOP Publishing Ltd	Relevant for videre undersøkelse
Scopus	"Digitization" AND "Digitalization" AND "Digital Transformation"	Språk: Engelsk. Søkefrase: Tittel-Abstrakt-Nøkkelord	179	-	Sitert av					For mange treff må filtrere ytterligere. Legger til søkeord "definition"
Scopus	"Digitization" AND "Digitalization" AND "Digital Transformation" AND "definition"	Språk: Engelsk. Søkefrase: Tittel-Abstrakt-Nøkkelord	13		2 Sitert av	Relevant litteratur:				
						Mergel I. ; Edelmann N. ; Haug N. ;	Defining digital transformation: Results from expert interviews	2019	Elsevier Ltd	Relevant for videre undersøkelse
						Bockschecker A. ; Hackstein S. ; Baumöl U.	Systematization of the term digital transformation and its phenomena from a socio-technical perspective - A literature review	2018	Association for Information Systems	Relevant for videre undersøkelse
Compendex	"Scanning" AND "BIM" AND "Quality"	Språk: Engelsk	93		Relevans	Relevant litteratur:				
Compendex	"3D" AND "Scanning" AND "BIM" AND "Quality" AND "Construction"	Språk: engelsk. År: 2015-nå	35		7 Relevans	Relevant litteratur:				
						Liu, Jindian; Zhang, Qilin; Zhang, Jinhui	Construction Management and Quality Control of Prefabricated Building Based on BIM and 3D Laser Scanning	2020	Science Press	Relevant for videre undersøkelse
						Binjin, Chen; Shouyan, Yao; Xin, Yu; Qichen, Jiang; Xin, Li	A Novel construction quality control and management method based on bim and 3D laser scanning technology	2018	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	Relevant for videre undersøkelse
						Biswas, Humayun Kabir	Automatic planning for scanning: Optimizing 3D laser scanning operations using BIM and TLS	2019	International Association of Engineers	Relevant for videre undersøkelse
						Lin, Pao-Hung; Chen, Dong-Yung	Applying BIM and Laser Scanning to Construction Quality Management	2019	Chinese Institute of Civil and Hydraulic	Relevant for videre undersøkelse
						Wang, Qian; Guo, Jingjing; Kim, Min-Koo	An application oriented scan-to-bim framework	2019	MDPI AG	Relevant for videre undersøkelse
						Daugėla, Ignas; Visockienė, Jūratė Sužiedelytė; Stanionis, Arminas; Tumelienė, Eglė; Antanavičiūtė, Urtė; Aksamitauskas, Vladislovas Česlovas	Comparing quality of aerial photogrammetry and 3D laser scanning methods for creating 3D models of objects	2019	Vilnius Gediminas Technical University Publishing House "Technika"	Relevant for videre undersøkelse
						Maalek, Reza (Department of Civil Engineering, University of Calgary, Calgary; AB; T2N 1N4, Canada); Lichti, Derek D.; Ruwanpura, Janaka Y.	Automatic recognition of common structural elements from point clouds for automated progress monitoring and dimensional quality control in reinforced concrete construction	2019	MDPI AG	Relevant for videre undersøkelse
Compendex	"3D laser scanning" OR "3D laser scan") AND "quality assurance" AND "construction industry"		2		2 Relevans	Relevant litteratur:				
						T. Sri Kalyan; Puyan A. Zadeh ; Sheryl Staub-French ;Thomas M.Froese	Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango	2016	Elsevier	Relevant for videre undersøkelse
						Safa, Mahdi ; Shahi, Arash ; Nahangi, Mohammad ; Haas, Carl ; Safa, Majeed	Automated post-production quality control for prefabricated pipe-pools	2015	ASCE	Relevant for videre undersøkelse
Scopus	"scoping study" OR "scoping literature review"		1754		Sitert av	Er veldig mange treff her, men velger å gå videre med de to mest siterte verkene:				
						Arksey H., O'Malley L.	Scoping studies: Towards a methodological framework	2005	International Journal of Social Research Methodology	Relevant for videre undersøkelse
						Danielle Levac, Heather Colquhoun, Kelly K O'Brien	Scoping studies: advancing the methodology	2010	Implementation Science	Relevant for videre undersøkelse

A.2 Litteratursamling, Første filtrering

Opphav til kilde	Forfattere	Tittel	År	Utgiver	Med videre til neste runde basert på tittel og sammendrag
Compendex	Hooda, Yaman; Kuhar, Preeti; Sharma, Kaushal; Verma, Neeraj Kumar	Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry	2021	IOP Publishing Ltd	Ja. Tema: AI i byggebransjen.
Compendex	Atuahene, Bernard Tuffour; Kanjanabootra, Sittimont; Gajendran, Thayaparan	Benefits of big data application experienced in the construction industry: A case of an Australian construction company	2020	Association of Researchers in Construction Management	Ja. Tema: Big data/digitalisering.
Compendex	Zhang, Huwei	Intelligent building planning system based on bim and artificial intelligence	2020	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	Nei. Fokus på evalueringssystem for ny teknologi basert på BIM.
Compendex	Akinosho, Taofeek D.; Oyedele, Lukumon O.; Bilal, Muhammad; Ajayi, Anuoluwapo O.; Delgado, Manuel Davila; Akinade, Olugbenga O.; Ahmed, Ashraf A.	Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations	2020	Elsevier Ltd	Ja. Tema : AI i byggebransjen/deep learning.
Compendex	Martínez-Barrera, Gonzalo; Beycioğlu, Ahmet; Gencel, Osman; Subaşı, Serkan; González-Rivas, Nelly	Artificial intelligence methods and their applications in civil engineering	2015	IGI Global	Nei. Spesifikk innen betongteknologi.
Compendex	Darko, Amos; Chan, Albert P.C. ; Adabre, Michael A. ; Edwards, David J. ; Hosseini, M. Reza ; Ameyaw, Ernest E	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities	2020	Elsevier B.V.	Ja. Tema: AI i byggebransjen.
Compendex	Karan, Ebrahim ; Asgari, Sadegh ; Mohammadpour, Atefeh	Applying Artificial Intelligence within the AEC Industry: Collecting and Interpreting Data	2020	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Ja. Tema AI i byggebransjen
Compendex	Raghavi, V. ; Gowtham, R.	AI based semantic extensibility and querying techniques for building information model	2019	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	Nei, for teknisk mtp. Integrering av filtyper og BIM.
Compendex	An, Yi ; Li, Haijiang ; Su, Tengxiang ; Wang, Yitong	Determining Uncertainties in AI Applications in AEC Sector and their Corresponding Mitigation Strategies	2021	Elsevier B.V.	Ja. AI i byggebransjen/AI erfaringer
Compendex	Mohammadpour, A. ; Karan, E. ; Asadi, S.	Artificial intelligence techniques to support design and construction	2019	International Association for Automation and Robotics in Construction I.A.A.R.C	Ja. Tema: AI i byggebransjen.
Compendex	Woo, Junghoon ; Shin, Sangyun ; Asutosh, Ashish T. ; Li, Jiakuan ; Kibert, Charles J.	An Overview of State-of-the-Art Technologies for Data-Driven Construction	2021	Springer	Ja. Digitalisering i byggebransjen/fildeling/construction 4.0
Compendex	Liu, Ning ; Kang, Byung Gyoo ; Zheng, Yu	Current trend in planning and scheduling of construction project using artificial intelligence	2018	Institution of Engineering and Technology	Ja. Tema: AI/ AI erfaringer
Compendex	Gilner, Ewa ; Galuszka, Adam ; Grychowski, Tomasz	Application of artificial intelligence in sustainable building design - Optimisation methods	2019	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc	Ja. AI i byggebransjen/AI erfaringer
Compendex	Dawood, Huda ; Siddle, Jonathan ; Dawood, Nashwan	Integrating IFC and NLP for automating change request validations	2019	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	Nei. Spesifikt innen filtyper.
Compendex	Kartam, Nabil A.; Levitt, Raymond E.	Intelligent planning of construction projects	1990	American Society for Civil Engineers	Ja. AI planlegging (OBS. eldre paper)
Compendex	Schia, Marte H.; Trollsås, Bo C.; Fyhn, Håkon; Lædre, Ola	The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior	2019	The International Group for Lean Construction	Ja, denne må med :))
Compendex	Elzomor, Mohamed; Pradhananga, Piyush; Santi, Gabriella; Vassigh, Shahin	Preparing the future workforce of architecture, engineering, and construction for robotic automation processes	2020	American Society for Engineering Education	Nei, handler om å gjøre studenter klar for bruk av ny teknologi.

Compendex	Karmakar, Ankan; Delhi, Venkata Santosh Kumar	Construction 4.0: What we know and where we are headed?	2021	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	State of the art review av Construction 4.0
Compendex	Boton, Conrad; Rivest, Louis; Ghnaya, Oussama; Chouchen, Moataz	What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort	2021	Springer Science and Business Media B.V.	Samme som under. Kan bruke til sammenligning av kildene.
Compendex	Perrier, Nathalie; Bled, Aristide; Bourgault, Mario; Cousin, Nolwenn; Danjou, Christophe; Pellerin, Robert; Roland, Thibaut	Construction 4.0: A survey of research trends	2020	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	Ja, sier noe om trenden og gapet i forskningen på construction 4.0
Compendex	Muñoz-La Rivera, F.; Mora-Serrano, J.; Valero, I.; Oñate, E.	Methodological-Technological Framework for Construction 4.0	2021	Springer Science and Business Media B.V.	Ja, om vi trenger ett rammeverk for implementering.
Compendex	Sherratt, Fred; Dowsett, Ruth; Sherratt, Simon	Construction 4.0 and its potential impact on people working in the construction industry	2020	ICE Publishing	Ja, handler om påvirkning på mennesker.
Compendex	Jazzar, Mahmoud El; Urban, Harald; Schranz, Christian; Nassereddine, Hala	Construction 4.0: A roadmap to shaping the future of construction	2020	International Association on Automation and Robotics in Construction (IAARC)	Ja, knyttet både til bruk av ny teknologi i byggebransjen og implementering
Compendex	Venkatasubramanian, Karthik	Machine learning set to play a key role in the transition to Construction 4.0	2020	ICE Publishing	Ja, forklarer bruk av makinlæring i byggebransjen
Compendex	Hossain, Md Aslam; Nadeem, Abid	Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0	2019	ISEC Press	Ja, handler om rammeverk for implementering
Compendex	Panenkov, Andrey ; Lukmanova, Inessa ; Kuzovleva, Irina ; Bredikhin, Vladimir	Methodology of the theory of change management in the implementation of digital transformation of construction: Problems and prospects	2021	EDP Sciences	Ja, implementering av digital transformasjon
Compendex	Shirokova, Svetlana ; Solovyov, Leonid ; Gnatenko, Elizaveta ; Lohyeeta, Nadia	Implementation of the digital transformation concept during decision-making process in a construction company. Digital transformation as a driver of strategic decision-making in a commercial organization	2020	Association for Computing Machinery	Ja, implementering av digital transformasjon
Compendex	Silverio-Fernández, Manuel Alexander ; Renukappa, Suresh ; Suresh, Subashini	Strategic framework for implementing smart devices in the construction industry	2021	Emerald Group Holdings Ltd.	Ja, implementering av digital transformasjon
Compendex	Asaul, Veronika ; Pesotskaya, Elena	Innovative technologies in construction: International experience and problems of incorporation in Russia	2018	IOP Publishing Ltd	Kanskje
Scopus	Mergel I. ; Edelmann N. ; Haug N. ;	Defining digital transformation: Results from expert interviews	2019	Elsevier Ltd	Ja. Gir definisjon på alle tre begrepene.
Scopus	Bockschecker A. ; Hackstein S. ; Baumöl U.	Systematization of the term digital transformation and its phenomena from a socio-technical perspective - A literature review	2018	Association for Information Systems	Ja. Gir definisjon på alle tre begrepene.
Compendex	T. Sri Kalyan; Puyan A. Zadeh ; Sheryl Staub-French ;Thomas M.Froese	Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango	2016	Elsevier	Ja, sier noe om KS ved bruk av mobil skanner.
Compendex	Safa, Mahdi ; Shahi, Arash ; Nahangi, Mohammad ; Haas, Carl ; Safa, Majeed	Automated post-production quality control for prefabricated pipe-spools	2015	ASCE	Nei, handler om prefabrikering.
Compendex	Liu, Jindian; Zhang, Qilin; Zhang, Jinhui	Construction Management and Quality Control of Prefabricated Building Based on BIM and 3D Laser Scanning	2020	Science Press	Ja. Omhandler kvalitetskontroll ved bruk av laserscanning.
Compendex	Binjin, Chen; Shouyan, Yao; Xin, Yu; Qichen, Jiang; Xin, Li	A Novel construction quality control and management method based on bim and 3D laser scanning technology	2018	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	Ja. Omhandler metoder og sammenhenger for BIM og 3D laserscanning.
Compendex	Biswas, Humayun Kabir	Automatic planning for scanning: Optimizing 3D laser scanning operations using BIM and TLS	2019	International Association of Engineers	Ja. Omhandler 3d scanning, Level of Accuracy (LOA) og Level og Surface Completeness (LOC)
Compendex	Lin, Pao-Hung; Chen, Dong-Yung	Applying BIM and Laser Scanning to Construction Quality Management	2019	Chinese Institute of Civil and Hydraulic	Ja. Omhandler status på modenhet på laserscanningsteknologi.
Compendex	Wang, Qian; Guo, Jingjing; Kim, Min-Koo	An application oriented scan-to-bim framework	2019	MDPI AG	Ja. Beskriver hovedsteg for scan til BIM prosessen.

Compendex	Daugėla, Ignas; Višockienė, Jūratė Sužiedelytė; Stanionis, Arminas; Tumelienė, Eglė; Antanavičiūtė, Urtė; Aksamitauskas, Vladislovas Česlovas	Comparing quality of aerial photogrammetry and 3D laser scanning methods for creating 3D models of objects	2019	Vilnius Gediminas Technical University Publishing House "Technika"	Ja. Omhandler kvalitetsanalyse av 3D modeller og karakteristik for 3D scanningssystemer.
Compendex	Maalek, Reza; Lichti, Derek D.; Ruwanpura, Janaka Y.	Automatic recognition of common structural elements from point clouds for automated progress monitoring and dimensional quality control in reinforced concrete construction	2019	MDPI AG	Ja. Handler om automatisert gjenkjenning av komponenter fra modeller konstruert ved hjelp av laserscanning.
Scopus	Arksey H., O'Malley L.	Scoping studies: Towards a methodological framework	2005	International Journal of Social Research Methodology	For metodebeskrivelse.
Scopus	Danielle Levac, Heather Colquhoun, Kelly K O'Brien	Scoping studies: advancing the methodology	2010	Implementation Science	For metodebeskrivelse.

A.3 Litteratursamling, Sortert søk

Opphav til kilde	Forfattere	Tittel	År	Type tekst	Utgever	Antall ganger sitert (Scopus)	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde	Inkludert/ekskludert
Compendex	Hooda, Yaman; Kuhar, Preeti; Sharma, Kaushal; Verma, Neeraj Kumar	Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry	2021	Forskningsartikkel	IOP Publishing Ltd	-	-	Generell info om bruk av AI i bransjen.	AI	
Compendex	Atuahene, Bernard Tuffour; Kanjanabootra, Sittimont; Gajendran, Thayaparan	Benefits of big data application experienced in the construction industry: A case of an Australian construction company	2020	Konferansepaper	Association of Researchers in Construction Management	-	big data, Australia, Industry 4.0, qualitative	Efaringer fra bruk av AI/Big Data i bransjen.	AI	
Compendex	Akinosho, Taofeek D.; Oyedele, Lukumon O.; Bilal, Muhammad; Ajayi, Anuoluwapo O.; Delgado, Manuel Davila; Akinade, Olugbenga O.; Ahmed, Ashraf A.	Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations	2020	Forskningsartikkel	Elsevier Ltd	12	Deep learning, Construction industry, Convolutional neural networks, Autoencoders, Generative adversarial networks	Bruk av AI/ Deep Learning i bransjen.	AI	
Compendex	Darko, Amos; Chan, Albert P.C.; Adabre, Michael A.; Edwards, David J.; Hosseini, M. Reza; Amezay, Ernest E	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities	2020	Forskningsartikkel	Elsevier B.V.	63	Architecture-Engineering-Construction, Artificial intelligence, Machine 31 intelligence, Industry 4.0, Automation, Digital transformation, Scientometric, Review	Bruk av AI i bransjen.	AI	
Compendex	Karan, Ebrahim ; Asgari, Sadegh ; Mohammadpour, Atefeh	Applying Artificial Intelligence within the AEC Industry: Collecting and Interpreting Data	2020	Konferansepaper	American Society of Civil Engineers (ASCE)	-	Artificial intelligence, data collection, design environment, construction environment	Bruk av AI i bransjen.	AI	
Compendex	An, Yi ; Li, Haijiang ; Su, Tengxiang ; Wang, Yitong	Determining Uncertainties in AI Applications in AEC Sector and their Corresponding Mitigation Strategies	2021	Forskningsartikkel	Elsevier B.V.	-	AI uncertainty, Optimization guidelines, AEC industry, Artificial neural networks, Support vector machine, Genetic algorithm, Fuzzy logic	Bruk av AI i bransjen/erfaringer	AI	For datateknisk
Compendex	Mohammadpour, A. ; Karan, E. ; Asadi, S.	Artificial intelligence techniques to support design and construction	2019	Konferansepaper	International Association for Automation and Robotics in Construction (I.A.A.R.C)	4	Artificial Intelligence Techniques, Artificial Intelligence Applications, Architecture, Engineering, and Construction Industry	Bruk av AI i bransjen.	AI	
Compendex	Liu, Ning ; Kang, Byung Gyoo ; Zheng, Yu	Current trend in planning and scheduling of construction project using artificial intelligence	2018	Konferansepaper	Institution of Engineering and Technology	2	artificial intelligence, project management, scheduling, expert systems, organisational aspects, construction industry, CAD	Bruk av AI i bransjen/erfaringer	AI	Oppgave skal ikke ha fokus på planlegging.
Compendex	Gilner, Ewa ; Galuszka, Adam ; Grychowski, Tomasz	Application of artificial intelligence in sustainable building design - Optimisation methods	2019	Konferansepaper	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc	1	Architectural Design, Pareto Genetic Algorithms, Knowledge Based Engineering, AEC managing tools, Decision Making	Bruk av AI i bransjen/erfaringer	AI	Oppgave skal ikke omhandle design. Ikke relevant.
Compendex	Kartam, Nabil A.; Levitt, Raymond E.	Intelligent planning of construction projects	1990	Forskningsartikkel	American Society for Civil Engineers	39	-	Bruk av AI i bransjen. Pionerverk som kan være av betydning.	AI	Oppgave skal ikke ha fokus på planlegging.
Compendex	Schia, Marte H.; Trollås, Bo C.; Fyhn, Håkon; Lædre, Ola	The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior	2019	Konferansepaper	The International Group for Lean Construction	1	Collaboration, Commitment, Trust, Digitization, Artificial Intelligence	Bruk av AI i bransjen/erfaringer	AI	
Compendex	Woo, Junghoon ; Shin, Sangyun ; Asutosh, Ashish T. ; Li, Jiakuan ; Kibert, Charles J.	An Overview of State-of-the-Art Technologies for Data-Driven Construction	2021	Bokkappittel/konferanse paper	Springer	3	State-of-the-art technology, AEC industry , Data-driven construction	Forteller om status på bruk av nye teknologiske verktøy i bransjen.	Construction 4.0	

Compendex	Karmakar, Ankan; Delhi, Venkata Santosh Kumar	Construction 4.0: What we know and where we are headed?	2021	Forskningsartikkel	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	-	Construction 4.0, People-process-technology framework, State-of-art frontiers in construction, Digitalization Technologies	Forteller om status på bruk av nye teknologiske verktøy i bransjen.	Construction 4.0	
Compendex	Boton, Conrad; Rivest, Louis; Ghnaya, Oussama; Chouchen, Moataz	What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort	2021	Forskningsartikkel	Springer Science and Business Media B.V.	7	-	Sier noe om gapet på forskningsfronten. Undersøkelse av trender i nåværende forskning	Construction 4.0	
Compendex	Perrier, Nathalie; Bled, Aristide; Bourgault, Mario; Cousin, Nolwenn; Danjou, Christophe; Pellerin, Robert; Roland, Thibaut	Construction 4.0: A survey of research trends	2020	Forskningsartikkel	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	6	Construction industry, Industry 4.0, Construction 4.0, Digital technologies	Sier noe om gapet på forskningsfronten. Undersøkelse av trender i nåværende forskning	Construction 4.0	
Compendex	Muñoz-La Rivera, F.; Mora-Serrano, J.; Valero, I.; Oñate, E.	Methodological-Technological Framework for Construction 4.0	2021	Forskningsartikkel	Springer Science and Business Media B.V.	11	-	Rammeverk for implementering av Construction 4.0.	Construction 4.0	
Compendex	Sherratt, Fred; Dowsett, Ruth; Sherratt, Simon	Construction 4.0 and its potential impact on people working in the construction industry	2020	Forskningsartikkel	ICE Publishing	4	Information technology, management, sosial	Generelt om Construction 4.0 og påvirkning de kan ha på mennesker i bransjen.	Construction 4.0	
Compendex	Jazzar, Mahmoud El; Urban, Harald; Schranz, Christian; Nassereddine, Hala	Construction 4.0: A roadmap to shaping the future of construction	2020	Konferansepaper	International Association on Automation and Robotics in Construction (IAARC)	-	Construction 4.0, Implementation, Roadmap, Integration, Interactions	Bruk av ny teknologi og implementering av dette.	Construction 4.0	
Compendex	Venkatasubramanian, Karthik	Machine learning set to play a key role in the transition to Construction 4.0	2020	Forskningsartikkel	ICE Publishing	-	-	Forklarer bruk av maskinlæring i byggebransjen.	Construction 4.0	Lite konkret fakta (litt reklamepreg)
Compendex	Hossain, Md Aslam; Nadeem, Abid	Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0	2019	Konferansepaper	ISEC Press	13	Productivity improvement, BIM, Value chain, Automation, Industry 4.0, Internet of things.	Rammeverk for implementering av Construction 4.0.	Construction 4.0	
Compendex	Panenkov, Andrey ; Lukmanova, Inessa ; Kuzovleva, Irina ; Bredikhin, Vladimir	Methodology of the theory of change management in the implementation of digital transformation of construction: Problems and prospects	2021	Forskningsartikkel	EDP Sciences	1	-	Implementering av digital transformasjon	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.	
Compendex	Shirokova, Svetlana ; Solovyov, Leonid ; Gnatenko, Elizaveta ; Lohyeeta, Nadia	Implementation of the digital transformation concept during decision-making process in a construction company. Digital transformation as a driver of strategic decision-making in a commercial organization	2020	Konferansepaper	Association for Computing Machinery	-	Digital transformation, Big data, QlikView, Decision making, Data analysis, Enterprise digitalization	Implementering av digital transformasjon	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.	Har fokus på annet område enn det vi er ute etter.
Compendex	Silverio-Fernández, Manuel Alexander ; Renukappa, Suresh ; Suresh, Subashini	Strategic framework for implementing smart devices in the construction industry	2021	Forskningsartikkel	Emerald Group Holdings Ltd.	-	Leadership, Culture, Smart devices, Construction industry, AEC sector, Internet of Things	Implementering av digital transformasjon	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.	
Compendex	Asaul, Veronika ; Pesotskaya, Elena	Innovative technologies in construction: International experience and problems of incorporation in Russia	2018	Konferansepaper	IOP Publishing Ltd	1	-	Erfaringer og utfordringer med digitalisering.	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.	Ikke relevant
Scopus	Mergel I. ; Edelman N. ; Haug N. ;	Defining digital transformation: Results from expert interviews	2019	Forskningsartikkel	Elsevier Ltd	83	Digital government; Digital transformation; Digitalization; Digitization; Expert interviews; Grounded theory	Definisjon av begrepene.	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.	
Scopus	Bockshecker A. ; Hackstein S. ; Baumöl U.	Systematization of the term digital transformation and its phenomena from a socio-technical perspective - A literature review	2018	Konferansepaper	Association for Information Systems	13	Digital transformation; Digitalization; Digitization; Literature review	Definisjon av begrepene.	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.	Ligger bak betalingsmur.
Pensumlitteratur IRI32018 Digitalisering ved Høgskolen i Østfold	Osmundsen, Karen ; Iden, Jon ; Bygstad, Bendik	HVA ER DIGITALISERING, DIGITAL INNOVASJON OG DIGITAL TRANSFORMASJON? EN LITTERATURSTUDIE	2018	Konferansepaper	Bibsys Open Journal Systems	-	-	Definisjon av begrepene og forklaring på hvordan de henger sammen.	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.	
Compendex	T. Sri Kalyan; Puyan A. Zadeh ; Sheryl Staub-French ; Thomas M.Froese	Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango	2016	Konferansepaper	Elsevier	25	Construction Quality Assessment, As-built Models, BIM, Deviation Analysis, Geometric Accuracy ,Project Tango,	Bruk av mobil til skanning sammenlignet med laser og foto.	3D skanning og fotogrammetri	
Researchgate	Nordahl, Christian ; Hosamo, Haidar ; Lassen, Ann Karina; Han, Daguang ; Ying, C.	The use of the BIM model and scanning in quality assurance of bridge constructions	2021	Del av bok/Konferansepaper	ECPPM 2021 – eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction	-	-	Frengangsmåte for skanning og fotogrammetri	3D skanning og fotogrammetri	For mye fokus på broer. Ikke relevant
Compendex	Liu, Jindian; Zhang, Qilin; Zhang, Jinhui	Construction Management and Quality Control of Prefabricated Building Based on BIM and 3D Laser Scanning	2020	Forskningsartikkel	Science Press	2	-	-	3D skanning og fotogrammetri	Finner ikke fulltekst.

Compendex	Binjin, Chen; Shouyan, Yao; Xin, Yu; Qichen, Jiang; Xin, Li	A Novel construction quality control and management method based on bim and 3D laser scanning technology	2018	Konferansepaper	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	1	Three-dimensional displays, Quality control, Urban areas, Laser modes, Steel, Laser applications, Manuals	Presentere bruken av BIM og 3D laserskanningsteknologi i kvalitetskontroll og -stryking	3D skanning og fotogrammetri	
Compendex	Biswas, Humayun Kabir	Automatic planning for scanning: Optimizing 3D laser scanning operations using BIM and TLS	2019	Forskningsartikkel	International Association of Engineers	4	Planning for Scanning, Terrestrial Laser Scanning, Construction Industry, BIM, 3D Point Clouds	Mål av nøyaktighet for 3d scanning	3D skanning og fotogrammetri	For teknisk.
Compendex	Lin, Pao-Hung; Chen, Dong-Yung	Applying BIM and Laser Scanning to Construction Quality Management	2019	Forskningsartikkel	Chinese Institute of Civil and Hydraulic	-	-	-	3D skanning og fotogrammetri	Bak betalingsmur.
Compendex	Wang, Qian; Guo, Jingjing; Kim, Min-Koo	An application oriented scan-to-bim framework	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	31	3D laser scanning; building information modelling (BIM); scan-to-BIM; information requirements; scan data quality; scanning parameters; as-is BIM reconstruction	Danne et rammeverk for å bruke data fra 3D skanning opp mot BIM	3D skanning og fotogrammetri	
Compendex	Daugėla, Ignas; Visockienė, Jūratė Sužiedelytė; Stanionis, Arminas; Tumelienė, Eglė; Antanavičiūtė, Urtė; Aksamitauskas, Vladislovas Česlovas	Comparing quality of aerial photogrammetry and 3D laser scanning methods for creating 3D models of objects	2019	Konferansepaper	Vilnius Gediminas Technical University Publishing House "Technika"	-	Laser scanning, 3D modelling, unmanned aerial vehicle, photogrammetry.	Utforske ulike former for 3D modellering ved hjelp av skanning	3D skanning og fotogrammetri	For teknisk.
Compendex	Maalek, Reza (Department of Civil Engineering, University of Calgary, Calgary, AB; T2N 1N4, Canada); Lichti, Derek D.; Ruwanpura, Janaka Y.	Automatic recognition of common structural elements from point clouds for automated progress monitoring and dimensional quality control in reinforced concrete construction	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	26	-	Danne et rammeverk for å gjenkjenne strukturelle komponenter fra punktskyer.	3D skanning og fotogrammetri	
Nettside:bostodynamics.com	Boston Dynamics	Game Changing Automation, Six Steps for Implementing Agile Mobile Robots	2020	Produktpresentasjon	Boston Dynamics	-	-	Implementering av smidige mobile roboter i byggebransjen.	3D skanning og fotogrammetri/Automatisering/Robotisering	
Google	NTI	Seks grunner til hvorfor du behøver «bikkja i bygget»	-	Produktpresentasjon	NTI	-	-	Presenterer mulig fordeler ved bruk av roboter på byggeplass.	3D skanning og fotogrammetri/Automatisering/Robotisering	Brukt for forståelse, men ikke kilde.
Google	Bjørheim, Knut	Imersos nye laserskanner har avdekket mer enn tusen byggefeil på Campus Ås	2019	Avisartikkel	Teknisk Ukeblad	-	-	Forklarer bruk av laserskanning på Campus Ås prosjektet. Intervju med involverte.	3D skanning og fotogrammetri/Automatisering/Robotisering	Brukt for forståelse, men ikke kilde.
Google	Scaled Robotics	The Need For Modernization And A Set Of Collaborative Tools To Do So	-	Blogginlegg	Scaled Robotics Nettside	-	-	Gir et perspektiv	3D skanning og fotogrammetri/Automatisering/Robotisering	Brukt for forståelse, men ikke kilde.
Scopus	Hilary Arksey, Lisa O'Malley	Scoping studies: towards a methodological framework	2005	Forskningsartikkel	International Journal of Social Research Methodology	7766	-	Forklare hva scoping study er.	Metodekap	
Scopus	Danielle Levac, Heather Colquhoun, Kelly K O'Brien	Scoping studies: advancing the methodology	2010	Forskningsartikkel	Implementation Science	3682	-	Forklare hva scoping study er.	Metodekap	

A.4 Litteratursamling, Citation chaining

Opphav til kilde	Forfattere	Tittel	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde	Inkludert/ekskludert
Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango	Leander de Barros Souza, Giuseppe Miceli Junior, Ricardo Choren	Information System applied in Construction Quality Control: A Mapping Study	2021	Konferanse paper	Association for Computing Machinery	Construction Quality Control, Information System, Data Collection, BIM	Sier noe om modenheten av temaet	3D skanning og fotogrammetri	Er ikke på engelsk.
Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango	Binjin, Chen; Shouyan, Yao; Xin, Yu; Qichen, Jiang; Xin, Li	A Novel construction quality control and management method based on bim and 3D laser scanning technology	2018	Konferanse paper	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	-	-	3D skanning og fotogrammetri	Allerede inkludert.
Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango	Hamedari H., Davari S., Azar E.R., McCabe B., Flager F., Fischer M.	UAV-enabled Site-to-BIM automation: Aerial robotic and computer vision-based development of As-Built/As-Is BIMs and quality control	2018	Konferanse paper	ASCE	-	Bruk av drone for bilde til BIM automasjon.	3D skanning og fotogrammetri	
Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango	Danijel Rebolj, Zoran Pučko, Nenad Čuš Babič, Marko Bizjak, Domen Mongus	Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring	2017	Forskningsartikkel	Elsevier B.V.	Construction progress monitoring, Automation, BIM, Scan-vs-BIM, Building element identification criteria, Point cloud quality	Omhandler punktsky	3D skanning og fotogrammetri	

An application oriented scan-to-bim framework	Frias, E., Díaz-Vilariño, L., Balado, J., Lorenzo, H.	From BIM to scan planning and optimization for construction control	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	: BIM; control of execution; scan-vs-BIM; path planning; visibility; spatial analysis; computational geometry	Planlegging av rute for automatisk skanning basert på BIM modell.	3D skanning og fotogrammetri	
An application oriented scan-to-bim framework	Rocha G., Mateus L.	A survey of scan-to-bim practices in the aec industry—a quantitative analysis	2021	Forskningsartikkel	MDPI	scan-to-BIM; 3D laser scanning; photogrammetry; building survey; AEC industry	Kvantitativ analyse av scan til BIM praksis i bransjen.	3D skanning og fotogrammetri	

A.5 Litteratursamling, Andre ervervede kilder

Opphav til kilde	Forfattere	Tittel	År	Type tekst	Utgiver	Formål	Relevant fagområde
Presentasjon av AI forsker Inga Strumke	Kommunal- og moderniseringsdepartementet	Nasjonal strategi for kunstig intelligens	2020	Nasjonal strategi/rapport	Kommunal- og moderniseringsdepartementet	Innhente teori AI	AI
SNL søk	Tidemann, Axel; Elster, Anne Cathrine	Maskinlæring	2019	Artikkel i oppslagsverk	Snl	Innhente teori maskinlæring	AI
SNL søk	Tidemann, Axel	Kunstig intelligens, Dyplæring, Mønstergjennkjennin g	2020-2021	Artikkel i oppslagsverk	Snl	Innhente teori AI	AI
Pensum bok	Kalsaas, Bo Terje	Lean construction	2017	Bok	Fagbokforlaget	Produksjonsledelse	Diverse
Pensum bok	Hjelseth, Eilif; Tollnes, Tor	BIM! Program og prosess	2019	Bok	-	Definere BIM	Digitisering
Fra veilder	Flick, Uwe; Kardoff, Ernst von; Steinke, Ines	A Companion to Qualitative Research	2004	Bok	SAGE	Triangulering forklaring. Metode	Metodekap

A.6 Litteratursamling, Backwards snowballing

Opphav til kilde	Forfattere	Tittel	År	Type tekst	Utgiver	Formål	Relevant fagområde
The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior (Tilhørende masteroppgave)	Duncan C. Meyers, Joseph A. Durlak, Abraham Wandersman	The Quality Implementation Framework: A Synthesis of Critical Steps in the Implementation Process	2012	Forskningsartikkel	American Journal of Community Psychology	Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior (Tilhørende masteroppgave)	Michael Fullan	The NEW Meaning of Educational Change	2016	Bok	Teachers College Press	Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior (Tilhørende masteroppgave)	Roy Atkinson	Organizational Change Management: An Essential Part of the Service Management Journey	2015	Artikkel	HDI	Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Nasjonal strategi for kunstig intelligens	Helsingfors Universitet, Reaktor, Feed, NTNU, Norwegian Open Artificial Intelligence Lab	Elements of AI	2018	Nettkurs	Helsingfors Universitet	Teori	AI
Paper fra TBA4127	Rabia Charef , Hafiz Alaka , Stephen Emmitt	Beyond the Third Dimension of BIM: A Systematic Review of Literatur and Assessment of Professional Views	2018	Forskningsartikkel	Journal of Building Engineering	BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Boken BIM! Program og prosess	R. Owen, A. Amor, J. Dickinson, P. Matthijs, A. Kiviniemi	Research Roadmap Report CIB Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS)	2013	Rapport	CIB Publications	BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Construction 4.0 a survey of research trends.	Eilif Hjelseth	BIM UNDERSTANDING AND ACTIVITIES	2017	Konferansepaper	WIT Transactions on The Built Environment	BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
The Introduction of AI in the Construction Industry and Its Impact on Human Behavior	Scott A. Carpenter , Catherine Liu , Weixun Cao , Allen Yao	Hierarchies of Understanding: Preparing for A.I.	2018	Konferansepaper	Springer International Publishing	Teori	AI
The Introduction of AI in the Construction Industry and Its Impact on Human Behavior	Charlyne Bolton, Veronika Machová, Mária Kováčová, Katarína Valášková	The Power of Human-machine Collaboration: Artificial Intelligence, Buisness Automation, and the Smart Economy	2018	Konferansepaper	Addleton Academic Publishers	Teori	AI

A.7 Litteratursamling, Endelig samling 1

Opphav til kilde	Forfattere	Tittel	År	Type tekst	Utgivner	Antall ganger sitert (Scopus)	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Hooda, Yaman; Kuhar, Preeti; Sharma, Kaushal; Verma, Neeraj Kumar	Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry	2021	Forskningsartikkel	IOP Publishing Ltd	-	-	Generell info om bruk av AI i bransjen.	AI
Compendex	Atuahene, Bernard Tuffour; Kanjanabootra, Sittimont; Gaiendran, Thayaparan	Benefits of big data application experienced in the construction industry: A case of an Australian construction company	2020	Konferansepaper	Association of Researchers in Construction Management	-	big data, Australia, Industry 4.0, qualitative	Efaringer fra bruk av AI/Big Data i bransjen.	AI
Compendex	Akinosho, Taofeek D.; Oyedele, Lukumon O.; Bilal, Muhammad; Ajayi, Anuoluwapo O.; Delgado, Manuel Davila; Akinade, Olugbenga O.; Ahmed, Ashraf A.	Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations	2020	Forskningsartikkel	Elsevier Ltd	12	Deep learning, Construction industry, Convolutional neural networks, Autoencoders, Generative adversarial networks	Bruk av AI/ Deep Learning i bransjen.	AI
Compendex	Darko, Amos; Chan, Albert P.C.; Adabre, Michael A.; Edwards, David J.; Hossaini, M. Reza; Ameyaw, Ernest E	Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities	2020	Forskningsartikkel	Elsevier B.V.	63	AEC, Artificial intelligence, Industry 4.0, Automation, Digital transformation, Review	Bruk av AI i bransjen.	AI
Compendex	Karan, Ebrahim ; Asgari, Sadegh ; Mohammadpour, Atefeh	Applying Artificial Intelligence within the AEC Industry: Collecting and Interpreting Data	2020	Konferansepaper	American Society of Civil Engineers (ASCE)	-	Artificial intelligence, data collection, design environment, construction environment	Bruk av AI i bransjen.	AI
Compendex	Mohammadpour, A. ; Karan, E. ; Asadi, S.	Artificial intelligence techniques to support design and construction	2019	Konferansepaper	International Association for Automation and Robotics in Construction (I.A.A.R.C)	4	Artificial Intelligence Techniques, Artificial Intelligence Applications, Architecture, Engineering, and Construction Industry	Bruk av AI i bransjen.	AI
Compendex	Schia, Marte H.; Trollsås, Bo C.; Fyhn, Håkon; Lædre, Ola	The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior	2019	Konferansepaper	The International Group for Lean Construction	1	Collaboration, Commitment, Trust, Digitization, Artificial Intelligence	Bruk av AI i bransjen/erfaringer.	AI
Presentasjon av AI forsker Inga Strumke	Kommunal- og moderniseringsdepartementet	Nasjonal strategi for kunstig intelligens	2020	Nasjonal strategi/rapport	Kommunal- og moderniseringsdepartementet	-	-	Innhente teori AI	AI
SNL søk	Tidemann, Axel; Elster, Anne Cathrine	Maskinlæring	2019	artikkel i oppslagsverk	Snl	-	-	Innhente teori maskinlæring	AI
SNL søk	Tidemann, Axel	Kunstig intelligens, Dylæring, Mønstergjennkjenning	2020-2021	artikkel i oppslagsverk	Snl	-	-	Innhente teori AI	AI
Snowballing	Helsingfors Universitet, Reaktor, Feed, NTNU, Norwegian Open Artificial Intelligence Lab	Elements of AI	2018	Nettkurs	Helsingfors Universitet	-	-	Teori	AI
Snowballing	Scott A. Carpenter , Catherine Liu , Weixun Cao , Allen Yao	Hierarchies of Understanding: Preparing for A.I.	2018	Konferansepaper	-	-	-	Teori	AI
Snowballing	Charlyne Bolton, Veronika Machová, Mária Kováčová, Katarína Valášková	The Power of Human-machine Collaboration: Artificial Intelligence, Business Automation, and the Smart Economy	2018	Konferansepaper	-	-	-	Teori	AI
Compendex	Woo, Junghoon ; Shin, Sangyun ; Asutosh, Ashish T. ; Li, Jiaxuan ; Kibert, Charles J.	An Overview of State-of-the-Art Technologies for Data-Driven Construction	2021	Bokkappittel/konferansepaper	Springer	3	State-of-the-art technology, AEC industry , Data-driven construction	Forteller om status på bruk av nye teknologiske verktøy i bransjen.	Construction 4.0
Compendex	Karmakar, Ankan; Delhi, Venkata Santosh Kumar	Construction 4.0: What we know and where we are headed?	2021	Forskningsartikkel	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	-	Construction 4.0, People-process-technology framework, State-of-art frontiers in construction, Digitalization Technologies	Forteller om status på bruk av nye teknologiske verktøy i bransjen.	Construction 4.0
Compendex	Boton, Conrad; Rivest, Louis; Ghnaya, Oussama; Chouchen, Moataz	What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort	2021	Forskningsartikkel	Springer Science and Business Media B.V.	7	-	Sier noe om gapet på forskningsfronten. Undersøkelse av trender i nåværende forskning	Construction 4.0
Compendex	Perrier, Nathalie; Bled, Aristide; Bourgault, Mario; Cousin, Nolwenn; Danjou, Christophe; Pellerin, Robert; Roland, Thibaut	Construction 4.0: A survey of research trends	2020	Forskningsartikkel	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	6	Construction industry, Industry 4.0, Construction 4.0, Digital technologies	Forskningsgap. Undersøkelse av trender i nåværende forskning	Construction 4.0
Compendex	Sherratt, Fred; Dowsett, Ruth; Sherratt, Simon	Construction 4.0 and its potential impact on people working in the construction industry	2020	Forskningsartikkel	ICE Publishing	4	Information technology, management, sosial	Genrelt om Construction 4.0 og påvirkning de kan ha på mennesker i bransjen.	Construction 4.0
Compendex	Jazzar, Mahmoud El; Urban, Harald; Schranz, Christian; Nassereddine, Hala	Construction 4.0: A roadmap to shaping the future of construction	2020	Konferansepaper	International Association on Automation and Robotics in Construction (IAARC)	-	Construction 4.0, Implementation, Roadmap, Integration, Interactions	Bruk av ny teknologi og implementering av dette.	Construction 4.0
Compendex	Hossan, Md Aslam; Nadeem, Abid	Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0	2019	Konferansepaper	ISEC Press	13	Productivity improvement, BIM, Value chain, Automation, Industry 4.0, Internet of things.	Rammeverk for implementering av Construction 4.0.	Construction 4.0
Compendex	Panenkova, Andrey ; Lukmanova, Inessa ; Kuzovleva, Irina ; Bredikhin, Vladimir	Methodology of the theory of change management in the implementation of digital transformation of construction: Problems and prospects	2021	Forskningsartikkel	EDP Sciences	1	-	Implementering av digital transformasjon	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Compendex	Silverio-Fernández, Manuel Alexander ; Renukappa, Suresh ; Suresh, Subashini	Strategic framework for implementing smart devices in the construction industry	2021	Forskningsartikkel	Emerald Group Holdings Ltd.	-	Leadership, Culture, Smart devices, Construction industry, AEC sector, Internet of Things	Implementering av digital transformasjon	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Scopus	Mergel I. ; Edelman N. ; Haug N. ;	Defining digital transformation: Results from expert interviews	2019	Forskningsartikkel	Elsevier Ltd	83	Digital government; Digital transformation; Digitalization; Digitization; Expert interviews; Grounded theory	Definisjon av begrepene.	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.

Pensumlitteratur IRI32018 Digitalisering ved Høgskolen i Østfold	Osmundsen, Karen ; Iden, Jon ; Bygstad, Bendik	HVA ER DIGITALISERING, DIGITAL INNOVASJON OG DIGITAL TRANSFORMASJON? EN LITTERATURSTUDIE	2018	Konferansepaper	Bibsys Open Journal Systems	-		Definisjon av begrepene og forklaring på hvordan de henger sammen.	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Pensum bok	Hjelseth, Eilif; Tollnes, Tor	BIM! Program og prosess	2019	Bok	-	-		Definere BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Snowballing	Duncan C. Meyers, Joseph A. Durlak, Abraham Wandersman	The Quality Implementation Framework: A Synthesis of Critical Steps in the Implementation Process	2012	Forskningsartikkel	American Journal of Community Psychology	-		Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Snowballing	Michael Fullan	The NEW Meaning of Educational Change	2016	Bok	Teachers College Press	-		Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Snowballing	Roy Atkinson	Organizational Change Management: An Essential Part of the Service Management Journey	2015	Artikkel	HDI	-		Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Snowballing	Rabia Charef , Hafiz Alaka , Stephen Emmitt	Beyond the Third Dimension of BIM: A Systematic Review of Literatur and Assessment of Professional Views	2018	Forskningsartikkel	Journal of Building Engineering	-		BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Snowballing	R. Owen, A. Amor, J. Dickinson, P. Matthijs, A. Kiviniemi	Research Roadmap Report CIB Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS)	2013	Rapport	CIB Publications	-		BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Snowballing	Eilif Hjelseth	BIM UNDERSTANDING AND ACTIVITIES	2017	Konferansepaper	WIT Transactions on The Built Environment	-		BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Compendex	T. Sri Kalyan; Puyan A. Zadeh ; Sheryl Staub-French ;Thomas M.Froese	Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango	2016	Konferansepaper	Elsevier	25		Construction Quality Assessment, As-built Models, BIM, Deviation Analysis, Geometric Accuracy ,Project Tango,	Bruk av mobil til scanning sammenlignet med laser og foto.
Compendex	Binjin, Chen; Shouyan, Yao; Xin, Yu; Qichen, Jiang; Xin, Li	A Novel construction quality control and management method based on bim and 3D laser scanning technology	2018	Konferansepaper	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	1		Three-dimensional displays, Quality control, Urban areas, Laser modes, Steel, Laser applications, Manuals	Presentere bruken av BIM og 3D laserskanningsteknologi i kvalitetskontroll og -styring
Compendex	Wang, Qian; Guo, Jingjing; Kim, Min-Koo	An application oriented scan-to-bim framework	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	31		3D laser scanning; building information modelling (BIM); scan-to-BIM; information requirements; scan data quality; scanning parameters; as-is BIM reconstruction	Danne et rammeverk for å bruke data fra 3D skanning opp mot BIM
Compendex	Maalek, Reza (Department of Civil Engineering, University of Calgary, Calgary; AB; T2N 1N4, Canada); Lichti, Derek D.; Ruwanpura, Janaka Y.	Automatic recognition of common structural elements from point clouds for automated progress monitoring and dimensional quality control in reinforced concrete construction	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	26		point cloud segmentation; terrestrial laser scanner (TLS); progress monitoring; dimensional compliance control; 3D surface intersection; building information modeling (BIM)	Danne et rammeverk for å gjenkjenne strukturelle komponenter fra punktskyer.
Nettside:bostondynamics.com	Boston Dynamics	Game Changing Automation, Six Steps for Implementing Agile Mobile Robots	2020	Produktpresentasjon	Boston Dynamics	-	-		Implementering av smidige mobile roboter i byggebransjen.
Citation chaining	Hamledari H., Davari S., Azar E.R., McCabe B., Flager F., Fischer M.	UAV-enabled Site-to-BIM automation: Aerial robotic- and computer vision-based development of As-Built/As-Is BIMs and quality control	2018	Konferansepaper	ASCE	-	-		Bruk av drone for bilde til BIM automasjon.
Citation chaining	Danijel Rebolj, Zoran Pučko, Nenad Čuš Babič, Marko Bizjak, Domen Monqus	Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring	2017	Forskningsartikkel	Elsevier B.V.	-	-	Construction progress monitoring, Automation, BIM, Scan-vs-BIM, Building element identification criteria, Point cloud quality	Omhandler punktsky
Citation chaining	Frias, E., Diaz-Vilarino, L., Balado, J., Lorenzo, H.	From BIM to scan planning and optimization for construction control	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	-	-	: BIM; control of execution; scan-vs-BIM; path planning; visibility; spatial analysis; computational geometry	Planlegging av rute for automatisk skanning basert på BIM modell.
Citation chaining	Rocha G., Mateus L.	A survey of scan-to-bim practices in the aec industry—a quantitative analysis	2021	Forskningsartikkel	MDPI	-	-	scan-to-BIM; 3D laser scanning; photogrammetry; building survey; AEC industry	Kvantitativ analyse av scan til BIM praksis i bransjen.
Scopus	Hilary Arksey, Lisa O'Malley	Scoping studies: towards a methodological framework	2005	Forskningsartikkel	International Journal of Social Research Methodology	7766	-		Forklare hva scoping study er.
Scopus	Danielle Levac, Heather Colquhoun, Kelly K O'Brien	Scoping studies: advancing the methodology	2010	Forskningsartikkel	Implementation Science	3682	-		Forklare hva scoping study er.
Fra veilder	Flick, Uwe; Kardoff, Ernst von; Steinke, Ines	A Companion to Qualitative Research	2004	Bok	A Companion to Qualitative Research	-	-		Triangulering forklaring. Metode
Pensum bok	Kalsaas, Bo Terje	Lean construction	2017	Bok	Fagbokforlaget	-	-		Produksjonsledelse

A.8 Litteratursamling, Evaluering

Emerging Applications of Artificial Intelligence in Structural Engineering and Construction Industry							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Hooda, Yaman; Kuhar, Preeti; Sharma, Kaushal; Verma, Neeraj Kumar	2021	Forskningspaper	IOP Publishing Ltd	-	Generell info om bruk av AI i bransjen.	AI
Kort om kilden: Paperet gir en overordnet oversikt over bruk av AI i byggebransjen i dag, ved å se på litteratur som beskriver ulike AI- metoder og verktøy.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Alle forfatterne er PhD kandidater ved SGT University.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Alle AI- metoder og verktøy beskrevet er underbygget med relevant forskningslitteratur			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Paperet beskriver et bredt spekter av AI- metoder og verktøy.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	1	Metoden for litteratursøk er i liten grad forklart.			
		Er data av nyere dato?	2	Innhentet data er stort sett fra de siste 10 årene. De siste 4 års utvikling virker imidlertid ikke å være beskrevet.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Artikkelen et godt overblikk, men tilfører lite spesifikk ny informasjon.			
Helhetlig vurdering			2	Paperet kan nyttes for å få ett overblikk, og som et utgangspunkt for å finne mer spesifikk litteratur.			

Benefits of big data application experienced in the construction industry: A case of an Australian construction company							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Atuahene, Bernard Tuffour; Kanjanabootra, Sittimont; Gajendran, Thayaparan	2021	Konferansepaper	Association of Researchers in Construction Management	big data, Australia, Industry 4.0, qualitative	Efaringer fra bruk av AI/Big Data i bransjen.	AI
Kort om kilden: Kartlegging av erfaringer fra bransjen med bruk av AI. I dette paperet er det fokus på bruk av Big Data.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Hovedforfatter er phd forsker og har totalt 22 siteringer på sine utgitte verker. Andre og tredje forfatter har hhv. 180 og 780 siteringer. Tilknytning til The			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	2	Nivå 0 i DBH. Ukjent fagfelleverdert. Internasjonal forfatterkrets			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Paperet beskriver bruk av Big Data ved bruk av relevant forskningslitteratur. Og kobler til case ved bruk av intervju.			
		Er flere sider av saken belyst?	2	Intervju av syv personer er utført.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Metode er grundig forklart.			
		Er data av nyere dato?	2	Det er benyttet en god blanding av nye kilder og noen litt eldre.			
	Egnethet	Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	-	Ikke relevant da det er en casestudie.			
Helhetlig vurdering			2	Relevant mtp. Erfaring fra bruk av AI, men usikkert pdd om Big Data er et tema for videre utdypning.			

Deep learning in the construction industry: A review of present status and future innovations							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Akinoshio, Taoreek D.; Oyedele, Lukumon O.; Bilal, Muhammad; Ajayi, Anuoluwapo O.; Delgado, Manuel Davila; Akinade, Olugbenga O.; Ahmed, Ashraf A.	2020	Forskningsartikkel	Elsevier Ltd	Deep learning, Construction industry, Convolutional neural networks, Autoencoders, Generative adversarial networks	Bruk av AI/ Deep Learning i bransjen.	AI
Kort om kilden: Litteraturstudie om deep learning i byggebransjen. Omhandler blant annet bildegjenkjenning og hvor bransjen er på dette punktet i dag. Samt hvilke utfordringer implementasjon av denne teknologien har.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Hovedforfatter er Phd. Kandidat fra University of West England. Forfatter har 23 siteringer på verk ifølge Reasearchgate. Flere av de andre forfatterne er sitert over 1000 ganger og er å anse som anerkjente.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Metoder og verktøy som er beskrevet er underbygget med relevant forskningslitteratur			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Utfordringer og fordeler er beskrevet.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Forskningsmetoden er detaljert beskrevet.			
		Er data av nyere dato?	3	Kilder er av nyere dato og tema oppfattes svært aktuelt.			
	Egnethet	Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	God kildebruk.			
Helhetlig vurdering			3	Artikkelen gir en god oversikt over tema som kan være sentrale for prosjektoppgaven.			

Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Darko, Amos; Chan, Albert P.C. ; Adabre, Michael A. ; Edwards, David J. ; Hosseini, M. Reza ; Ameyaw, Ernest E	2020	Forskningsartikkel	Elsevier B.V.	AEC, AI, Machine intelligence, Industry4.0, Automation, Digital transformation, Scientometric, Review	Beskrivelse av forskningsaktivitet på AI i bransjen.	AI
Kort om kilden: Kartlegging av forskningsaktivitet knyttet til AI i byggebransjen. Totalt evaluert 41,827 relaterte kilder til temaet. Gir svar på mest brukte AI metoder i bransjen.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Research Assistant Professor ved Hong Kong polytechnic University. Har gitt ut 71 publikasjoner og har 2041. Flere anerkjente medforfattere.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Automation in Construction. Nivå 1, fagfelleverdert kilde.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	2	Artikkel går gjennom alt av utgitt forskning på temaet.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Bruker et bredt utvalg av kilder.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Godt beskrevet forskningsmetode.			
		Er data av nyere dato?	2	Har med alt. Men er nærmest eksponentiell vekst i artikler etter 2000. Så mesteparten er av nyere dato. Har ikke med fra 2020 og 2021. Mulighet for trend er noe endret, men store endringer tar mer tid for å gi utslag.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Ja, men er eneste forskning av denne størrelsen på temaet.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Artikkelen beskriver godt den nåværende trenden i forskning på AI i bransjen.			
Helhetlig vurdering			3				

Applying Artificial Intelligence within the AEC Industry: Collecting and Interpreting Data							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Karan, Ebrahim ; Asgari, Sadegh ; Mohammadpour, Atefeh	2020	Konferansepaper	American Society of Civil Engineers (ASCE)	Artificial intelligence, data collection, design environment, construction environment	Bruk av AI i bransjen.	AI
Kort om kilden: Beskriver de ulike metodene for informasjonsinnhenting og datatolkning ved bruk av AI i byggebransjen.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Hovedforfatter er professor ved Sam Houston State University. Hovedforfatter er ifølge ResearchGate sitert 944 ganger.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: ASCE, Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Virker å samsvare med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Vurderes som objektivt framstilt.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Noe uklar metode			
		Er data av nyere dato?	3	Kilder er av nyere dato.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	2	Noe varierende mengde av kildebruk.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Kan være relevant for å beskrive bruken av AI.			
Helhetlig vurdering			3				

Artificial intelligence techniques to support design and construction							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Mohammadpour, A. ; Karan, E. ; Asadi, S.	2019	Konferansepaper	International Association for Automation and Robotics in Construction (I.A.A.R.C)	Artificial Intelligence Techniques, Artificial Intelligence Applications, Architecture, Engineering, and Construction Industry	Bruk av AI i bransjen.	AI
Kort om kilden: Presenterer metoder som AI kan benyttes for i byggebransjen.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Alle forfattere er associate professorer. Hovedforfatter fra Purdue University Fort Wayne.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	2	Tidsskrift ikke i database. Antar fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	God kildebruk.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Fremstår som objektiv fremstilling av data.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Lite forklart metode.			
		Er data av nyere dato?	2	Flestepart av kildene er av nyere dato.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	God kildebruk, men noen nettsider er benyttet for ekstra informasjon noen plasser.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Presenterer hva AI er på en ryddig oversiktlig måte og nevner bruksområder innefor bransjen.			
Helhetlig vurdering			3				

The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Schia, Marte H.; Trollsås, Bo C.; Fyhn, Håkon; Lædre, Ola	2019	Konferansepaper	The International Group for Lean Construction	Collaboration, Commitment, Trust, Digitization, Artificial Intelligence	Bruk av AI i bransjen/erfaringer.	AI
Kort om kilden: Paper som presenterer erfaringer fra bruk av AI i norsk bedrift. Sier også noe om implemteringen av AI i bransjen.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Forfatter er masterstudent ved NTNU. Faglig støtte fra professor og ekstern veileder.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Utgitt av IGLC. Nivå 1, fagfelleverdert kilde.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	2	Artikkelen bruker flere faglig sterke kilder, men også kilder fra diverse nettsider.			
		Er flere sider av saken belyst?	2	Data er presenert på objektiv måte.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	God forklart metode. S sammensatt av litteraturstudie, eksterne innintervju og case studie.			
		Er data av nyere dato?	3	Har samlet inn mye data selv, så er ny data.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	2	Teoretisk grunnlag kan bekrefte men for store deler av resultatdel er dette vanskelig pga. valgt metode. Forfatters tolkning av svar i intervjuer er subjektive og kan være farget av hens meninger.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Relevant for oppgaven da artikkelen presenterer erfaringer med AI.			
Helhetlig vurdering			3				

An Overview of State-of-the-Art Technologies for Data-Driven Construction							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Woo, Junghoon ; Shin, Sangyun ; Asutosh, Ashish T. ; Li, Jiakuan ; Kibert, Charles J.	2021	Bokkapittel/konferansepaper	Springer	State-of-the-art technology, AEC industry, Data-driven construction	Forteller om status på bruk av nye teknologiske verktøy i bransjen.	Construction 4.0
Kort om kilden: Beskriver ny teknologi i byggebransjen gjennom Construction 4.0 perspektiv. Tar opp områder som IoT, RFID, WSN, Drone, and 3D skanning.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere er tilknyttet University of Florida. Hovedforfatter er professor ved universitetet og er ifølge researchgate sitert 87 ganger.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Springer, Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	God kildebruk.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Bred tilnærming.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Metoden er forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Kilder av nyere dato er nyttet.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Tilsvarende studier gir lignende resultater.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Gir en god oversikt over temaet digitalisering og Construction 4.0.			
Helhetlig vurdering			3				

Construction 4.0: What we know and where we are headed?							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Karmakar, Ankan; Delhi, Venkata Santosh Kumar	2021	Forskningsartikkel	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	Construction 4.0, People-process-technology framework, State-of-art frontiers in construction, Digitalization Technologies	Forteller om status på bruk av nye teknologiske verktøy i bransjen.	Construction 4.0
Kort om kilden: Oversikt over construction 4.0 i sammenheng med mennesket, prosess og teknologi i prosjekters ulike faser.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere er tilknyttet Indian Institute of Technology Bombay. Hovedforfatter er Ph.D. student ved universitetet. Andre forfatter er Assistant professor og ifølge researchgate sitert 81 ganger.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Journal of Information Technology in Construction, Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Tilsynelatende god kildebruk.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Bred tilnærming.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Metoden er forklart i noe detalj.			
		Er data av nyere dato?	3	Kilder av nyere dato er nyttet.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Tilsvarende studier gir lignende resultater.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Gir en bred oversikt som kan benyttes for generell informasjon innen temaet.			
Helhetlig vurdering			3				

What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde

Compendex	Boton, Conrad; Rivest, Louis; Ghnaya, Oussama; Chouchen, Moataz	2021	Forskningsartikkel	Springer Science and Business Media B.V.	-	Finne gapet på forskningsfronten. Undersøkelse av trender i nåværende forskning.	Construction 4.0
Kort om kilden: Viser forskningsgapet mellom de ulike definisjoner av Construction 4.0 ved hjelp av litteratursøk. Gir en oversikt over ulike begreper innen digitalisering i byggebransjen, sammenhenger, og hvor mye de er nyttet.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere er tilknyttet Ecole de Technologie Supérieure. Hovedforfatter er professor ved universitetet og er ifølge researchgate sitert 438 ganger.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Archives of Computational Methods in Engineering, Nivå 1, fagfelleurdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Tilsynelatende god kildebruk.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Temaet er belyst ved hjelp av en rekke kilder med ulike synspunkter.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metoden er forklart i detalj.			
		Er data av nyere dato?	3	Data er stort sett fra de siste 10 årene.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Samsvarer med annen forskning.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Syntes relevant for å velge strategi for ulike definisjoner og oppbygning.			
Helhetlig vurdering			3				

Construction 4.0: A survey of research trends							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Perrier, Nathalie; Bled, Aristide; Bourgault, Mario; Cousin, Nolwenn; Danjou, Christophe; Pellerin, Robert; Roland, Thibaut	2020	Forskningsartikkel	International Council for Research and Innovation in Building and Construction	Construction industry, Industry 4.0, Construction 4.0, Digital technologies	Sier noe om gapet på forskningsfronten. Undersøkelse av trender i nåværende forskning	Construction 4.0
Kort om kilden: Klassifiserer og finner ulikheter mellom forskningspaper som omhandler Construction 4.0.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere er tilknyttet Polytechnique Montréal. Hovedforfatter er Research associate ved universitetet og er ifølge researchgate sitert 719 ganger.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Journal of Information Technology in Construction, Nivå 1, fagfelleurdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Tilsynelatende god kildebruk.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Temaet er belyst ved hjelp av en rekke kilder med ulike synspunkter.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metoden er forklart i detalj.			
		Er data av nyere dato?	3	Papers som er undersøkt er fra 2009 til 2020.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Samsvarer med annen forskning. Kan sammenlignes blant annet med paperet "What is at the Root of Construction 4.0: A Systematic Review of the Recent Research Effort".			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Syntes relevant for å velge strategi for ulike definisjoner og oppbygning.			
Helhetlig vurdering			3				

Construction 4.0 and its potential impact on people working in the construction industry							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Sherratt, Fred; Dowsett, Ruth; Sherratt, Simon	2020	Forskningsartikkel	ICE Publishing	Information technology, management, sosial	Construction 4.0 og påvirkning på mennesker.	Construction 4.0
Kort om kilden: Paperet forklarer kort om hva construction 4.0 er. Videre blir det menneskelige elementet drøftet, og det sies litt om hva construction 4.0 har å si for arbeiderne som jobber på byggeplassen. Viktige poenger som er vært å ta med i oppgave om temaet.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere er tilknyttet tre ulike universitet i England. Hovedforfatter arbeider ved Anglia Ruskin University og har verk som er sitert 436 ganger i følge			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Nivå 1, fagfelleurdert kilde.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	God kildebruk i paper.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Bruker flere kilder for å forklare de presenterte resultatene.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Metode er ikke tilstrekkelig forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Bruker et bredt utvalg av kilder. Både eldre og nyere verk.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	2	Deler av paperet kan enkelt bekrefte av andre kilder. Menneskelig faktor er vanskeligere å bekrefte men er fortsatt mulig da det baserer seg på litteraturen.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Kan være relevant i prosjektoppgave å drøfte rundt det menneskelige element knyttet til ny teknologi.			
Helhetlig vurdering			3				

Construction 4.0: A roadmap to shaping the future of construction							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde

Compendex	Jazzar, Mahmoud El; Urban, Harald; Schranz, Christian; Nassereddine, Hala	2020	Konferanase paper	International Association on Automation and Robotics in Construction (IAARC)	Construction 4.0, Implementation, Roadmap, Integration, Interactions	Bruk av ny teknologi og implementering av dette.	Construction 4.0
Kort om kilden: Undersøker 7 ulike Construction 4.0 teknologier/metoder gjennom prosjektets livssyklus med formål å danne en implementasjonsplan for teknologien.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere er tilknyttet University of Kentucky og medforfattere til Technical University of Vienna. Hovedforfatter er Graduate Research Assistant ved universitetet og er ifølge researchgate sitert 38 ganger. Medforfatter Doctor Schranz er sitert 129 ganger.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	2	Finner ikke tidsskrift International Symposium on Automation and Robotics in Construction i database. Antas fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Paperets resultater samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Fordeler, ulemper og utfordringer er beskrevet.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	1	Metoden for innhenting av kilder er i liten grad forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Kilder er hovedsakelig fra det siste tiåret.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Det er benyttet tilsynelatende gode kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Ny teknologi og implementering av dette kan være relevant for prosjektoppgaven.			
Helhetlig vurdering			2				

Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Hossan, Md Aslam; Nadeem, Abid	2019	Konferansepaper	ISEC Press	Productivity improvement, BIM, Value chain, Automation, Industry 4.0, Internet of things.	Rammeverk for implementering av Construction 4.0.	Construction 4.0
Kort om kilden: Generelt om implementering av construction 4.0.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere er tilknyttet Nazarbayev University. Hovedforfatter er Assistant professor ved universitetet og er ifølge researchgate sitert 175 ganger. Medforfatter er sitert 1653 ganger.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	2	Finner ikke tidsskrift ISEC i database. Antas fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning, men holder seg på et overordnet nivå.			
		Er flere sider av saken belyst?	1	Gir en veldig generell beskrivelse med lite detaljer.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	1	Metoden er i liten grad forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Kildene er av nyere dato.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Kildene er tilsynelatende gode.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Virker ganske generell, dermed usikkert om paperet tilfører ny informasjon.			
Helhetlig vurdering			2				

Methodology of the theory of change management in the implementation of digital transformation of construction: Problems and prospects							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Panekov, Andrey ; Lukmanova, Inessa ; Kuzovleva, Irina ; Bredikhin, Vladimir	2021	Forskningsartikkel	EDP Sciences	-	Implementering av digital transformasjon	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon
Kort om kilden: Implementering av digital transformasjon.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Hovedforfatter er tilknyttet Voronezh State Technical University. Begrenset med informasjon om forfattere tilgjengelig.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: E3S Web of Conferences. Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	2	Bruker gode kilder, men hovedsakelig kun fra Russland.			
		Er flere sider av saken belyst?	2	Bruker grei mengde kilder for å forklare teori.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er god forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Bruker utelukkende nye kilder.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	2	Overordnet konklusjon kan bekrefte av andre kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Forklarer implementering av digital transformasjon, og viktig teori og begrep. Hoved fokus er likevel på informasjonsmodellering. Men grunnleggende teori er likevel relevant for oss.			
Helhetlig vurdering			2				

Strategic framework for implementing smart devices in the construction industry							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde

Compendex	Silverio-Fernández, Manuel Alexander ; Renukappa, Suresh ; Suresh, Subashini	2021	Forskningsartikkel	Emerald Group Holdings Ltd.	Leadership, Culture, Smart devices, Construction industry, AEC sector, Internet of Things	Implementering av digital transformasjon	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Kort om kilden:	Forklarer utfordringer med implementering av smart teknologi i byggebransjen og presenterer suksessfaktorer for at dette skal bli vellykket. Presenterer videre et rammeverk for implementeringen.						
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Forfattere har tilknytning til University of Wolverhampton. Ukjent hovedforfatter men medforfattere har hhv. 532 og 602 siteringer i følge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Construction Innovation. Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Bruker mange kilder tilsynelatende god kvalitet.			
		Er flere sider av saken belyst?	2	Bruker flere kilder til å forklare. Men bruker noen ganger samme kilde på store deler av artikkelen.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er godt forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Bruker et bredt spekter av kilder fra ulike årstall.			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	2	Er en studie som presenterer noe nytt. Teori kan bekreftes av andre kilder men resultat kan ikke det i samme grad.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Har mange gode momenter knyttet til implementering av ny teknologi som kan brukes i prosjektoppgave.			
Helhetlig vurdering			3				

Defining digital transformation: Results from expert interviews

Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Scopus	Mergel I. ; Edelmann N. ; Haug N. ;	2019	Forskningsartikkel	Elsevier Ltd	Digital government; Digital transformation; Digitalization; Digitization; Expert interviews; Grounded theory	Definisjon av begrepene.	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Kort om kilden:	Artikkelen presenterer definisjoner på begrepene digitisering, digitalisering og digital transformasjon. Definisjonene er basert på en rekke ekspertuttalelser fra flere land i Europa.						
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Hovedforfatter er tilknyttet University of Konstanz. Er ifølge researchgate sitert 4176 ganger. Hun er doktor på forettningsadministrasjon og forsker på digital innovasjon i offentlig sektor.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Government Information Quarterly. Nivå 2, fagfelleverdert kilde.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Artikkelen bruker gode kilder til å presentere teoretisk rammeverk, og koble sine funn til eksisterende forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Hentet inn informasjon fra flere kilder for å komme frem til definisjoner.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Godt forklart metode.			
		Er data av nyere dato?	3	Resultatene er basert på ny data som er innhentet i forbindelse med studien.			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	Dette er en mye sitert artikkel og har dannet perspektiv på definisjonene. Teori kan bekreftes av andre kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Gir en definisjon på digital transformasjon for offentlig sektor.			
Helhetlig vurdering			3				

HVA ER DIGITALISERING, DIGITAL INNOVASJON OG DIGITAL TRANSFORMASJON? EN LITTERATURSTUDIE

Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Pensumlitteratur IRI32018 Digitalisering ved Høgskolen i Østfold	Osmundsen, Karen ; Iden, Jon ; Bygstad, Bendik	2018	Konferansepaper	Bibsys Open Journal Systems		Begrep definisjoner.	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Kort om kilden:	Gir definisjon av begrepene digitisering, digitalisering, digital transformasjon. Presenterer en konseptuell modell for hvordan begrepene henger sammen.						
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere har tilknytning til NHH. Hovedforfatter er PhD kandidat og forsker på digitalisering og digital transformasjon. Medforfattere er sitert hhv. 771 og 1754 ganger i følge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: NOKOBIT - Norsk konferanse for organisasjoners bruk av informasjonsteknologi. Nivå 1. Fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Artikkelen bruker gode kilder til å beskrive informasjon.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Setter flere kilder opp mot hverandre. Bruker flere kilder til å forklare div. informasjon.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Godt forklart metode.			
		Er data av nyere dato?	2	Bruker kilder som var nye på utgitt tidspunkt. Har skjedd mye på temaet siden 2018.			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	En litteraturstudie som hentet inn info fra flere kilder for så å presentere sin egen tolkning av definisjonene.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Det trengs definisjon på begrepene i prosjektoppgaven så er meget relevant.			
Helhetlig vurdering			3				

Construction Quality Assessment Using 3D as-built Models Generated with Project Tango

Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	T. Sri Kalyan; Puyan A. Zadeh ; Sheryl Staub-French ; Thomas M. Froese	2016	Konferansepaper	Elsevier	Construction Quality Assessment, As-built Models, BIM, Deviation Analysis, Geometric Accuracy ,Project Tango,	Bruk av mobil til scanning sammenlignet med laser og foto.	3D skanning og fotogrammetri

Kort om kilden:	Bruk av mobil til scanning sammenlignet med laser og fotogrammetri. Beskriver fordeler og ulemper.			
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere har tilknytning til University of British Columbia. Hovedforfatter er "postdoctoral fellow". Og er ifølge researchgate sitert 25 ganger. Medforfattere er sitert betrekkelig flere ganger. Professor Froese er for eksempel sitert 2415 ganger.
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. Bekreftet fagfelleverdert av ICDEC.
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Artikkelen bruker gode kilder til å beskrive informasjon.
		Er flere sider av saken belyst?	3	Flere sider av metodene blir beskrevet.
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metoden er detaljert forklart.
		Er data av nyere dato?	2	En del av kildene er eldre enn 10 år gamle og kan derfor være utdatert innen dette spesifikke temaet.
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	2	Noe av informasjonen kan bekrefte av flere kilder. Annen spesifikk informasjon har ikke sammenlignbare kilder blitt funnet.
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Beskriver "Project Tango" løsningen som er en enklere løsning med feilmarginer opp mot 0,35 m, noen som ofte vil være for stor usikkerhet for kvalitetskontroll.
Helhetlig vurdering			2	

A Novel construction quality control and management method based on bim and 3D laser scanning technology

Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Binjin, Chen; Shouyan, Yao; Xin, Yu; Qichen, Jiang; Xin, Li	2018	Konferansepaper	Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.	Three-dimensional displays, Quality control, Urban areas, Laser modes, Steel, Laser applications, Manuals	BIM og 3D laserskanningsteknologi i kvalitetskontroll og -stryking	3D skanning og fotogrammetri
Kort om kilden:	Forklarer en framgangsmåte for å bruke 3d skanning og BIM til å utføre kvalitetssikring av byggeplass.						
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Forfattere er i fra et bygg og anleggssfirma fra Kina.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	2	Tidsskrift: International Conference on 3D Immersion. Ikke i BHD. Antar at det er fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Artikkel benytter forskningslitteratur som kilder.			
		Er flere sider av saken belyst?	2	Gir en presentasjon og forklaring av deres tilnærming til fremgangsmåte for å utføre kvalitetskontroll.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Grundig forklaring av metode for å foreta kvalitetskontroll.			
		Er data av nyere dato?	2	Bruker state of the art forskning fra tiden det er skrevet (2018). Kan være utdatert fremgangsmåte.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Fremgangsmåte er mulig å bekrefte ved bruk av andre kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Relevant for å dokumentere hvordan 3D skanning brukes til kvalitetssikring i byggebransjen.			
Helhetlig vurdering			3				

An application oriented scan-to-bim framework

Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Wang, Qian; Guo, Jingjing; Kim, Min-Koo	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	3D laser scanning; building information modelling (BIM); scan-to-BIM; information requirements	Rammeverk for å bruke data fra 3D skanning opp mot BIM	3D skanning og fotogrammetri
Kort om kilden:	Danner et rammeverk for å bruke data fra 3D skanning opp mot BIM.						
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Hovedforfatter er assistent professor ved National University of Singapore. Har totalt 805 siteringer i følge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Remote sensing. Nivå 1, fagfelleverdert kilde.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Artikkelen benytter seg av gode kilder.			
		Er flere sider av saken belyst?	2	Påstander er til tider dokumentert med flere kilder. Noen påstander i starten mangler kilderef.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Uoversikkelig forklart metode.			
		Er data av nyere dato?	3	Benytter seg av kilder fra 2008-2018.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	2	Teorien er ofte presentert med flere kilder. Deres resultat fra forskning kan ikke dokumenteres på samme måte.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Presenterer rammeverk for bruk av 3D skanning til BIM. Det er her fokus på interørfase og dokumentasjon av hvordan det ferdige produktet ser ut.			
Helhetlig vurdering			2				

Automatic recognition of common structural elements from point clouds for automated progress monitoring and dimensional quality control in reinforced concrete construction

Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Compendex	Maalek, Reza; Lichti, Derek D.; Ruwanpura, Janaka Y.	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	Semantic object classification; point cloud segmentation; TLS; 3D surface intersection; change detection; BIM	Rammeverk strukturelle komponenter fra punktskyer.	3D skanning og fotogrammetri
Kort om kilden:	Gir en beskrivelse av et rammeverk for å kunne godkjenne strukturelle bygningsdeler ved bruk av 3D skanning.						

Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Hovedforfatter har tilknytning til university og Calgary og har i følge researchgate 210 siteringer på sine utgitt publikasjoner.
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Remote sensing. Nivå 1, fagfelleverdert kilde.
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Bruker gode kilder til å forklare. Både fagfelleverdert litteratur og state of the art informasjon fra bransjeaktører.
		Er flere sider av saken belyst?	3	Bruker informasjon fra flere kilder til å sette sammen metode.
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Grundig forklart metode.
		Er data av nyere dato?	3	Bredt utvalg av kilder hvor mesteparten er ny data. Er også inkludert eldre kilder for definisjon på begreper og grunnleggende fakta på noen områder.
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Setter resultatene fra forskningen opp mot eksisterende litteratur i konklusjonen.
Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Beskriver detaljert fremgangsmåte og rammeverk for å godkjenne strukturelle komponenter fra punktskyer. Kan likevel bli for teknisk mtp. Prosjektoppgave, men kan trekke ut viktig informasjon fra konklusjon og diskusjon.	
Helhetlig vurdering			3	

UAV-enabled Site-to-BIM automation: Aerial robotic- and computer vision-based development of As-Built/As-Is BIMs and quality control							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Citation chaining	Hamledari H., Davari S., Azar E.R., McCabe B., Flager F., Fischer M.	2018	Konferansepaper	ASCE	-	Bruk av drone for bilde til BIM automasjon.	3D skanning og fotogrammetri
Kort om kilden: Bruk av drone for skanning til BIM automasjon, for fremdrifts og kvalitetskontroll.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfattere fra en rekke anerkjente institusjoner som Stanford University, University of Toronto og Lakehead University. Hovedforfatter er Ph.D student. Anerkjente medforfattere som Martin Fischer, som ifølge Researchgate har over 8000 siteringer.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: ASCE Construction Research Congress . Nivå 1, Fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Kildene er av tilsynelatende god kvalitet. Resultater virker å stemme overens med andre studier som er undersøkt i litteratursøket.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Paperet syntes å være objektivt frestilte, og belyser både fordeler og ulemper samt utfordringer ved bruk av drone til skanning.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metoden er forklart i detalj, og er lett å følge.			
		Er data av nyere dato?	3	Data er av nyere dato. Kilder som er nyttig er hovedsakelig fra de siste fem årene.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	2	Papere har god kildebruk. Resultater virker å stemme overens med andre studier som er undersøkt i litteratursøket. Området spesifikt knyttet til skanning ved bruk av droner er likevel i et tidlig stadige, og direkte sammenlignbar litteratur er dermed vanskelig å oppdrive.			
Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Paperet kan nyttes for å vise potensiale med bruk av droner for 3D scanning.				
Helhetlig vurdering			3				

Point cloud quality requirements for Scan-vs-BIM based automated construction progress monitoring							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Citation chaining	Danijel Rebolj, Zoran Pučko, Nenad Čuš Babič, Marko Bizjak, Domen Mongus	2017	Forskningsartikkel	Elsevier B.V.	Construction progress monitoring, Automation, BIM, Scan-vs-BIM, Point cloud quality	Omhandler punktsky	3D skanning og fotogrammetri
Kort om kilden: Sier noe om viktigheten av nøyaktighet og densitet for punktskyer fra 3D skanning, for å kunne bruke opp mot BIM-modell.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatterne er tilknyttet University of Maribor Slovenia. Hovedforfatter er professor som er sitert over 800 ganger ifølge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Elsevier. Nivå 1, Fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	God kildebruk.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Paperet syntes å være objektivt frestilte.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metoden er forklart i detalj.			
		Er data av nyere dato?	3	Data er av nyere dato.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Papere har god kildebruk. Resultater virker å stemmer overens med andre studier.			
Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Vil være relevant for prosjektoppgaven, for å kunne beskrive hvilke krav for 3D skanning som trengs for at det skal fungere tilfredstillende.				
Helhetlig vurdering			3				

From BIM to scan planning and optimization for construction control							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Citation chaining	Frías, E., Díaz-Vilariño, L., Balado, J., Lorenzo, H.	2019	Forskningsartikkel	MDPI AG	BIM; control of execution; scan-vs-BIM; path planning	Automatisk plan basert på BIM modell.	3D skanning og fotogrammetri
Kort om kilden: Automatisert planlegging av beste skanner rute for tilstrekkelig og effektiv dekning. Skanner er montert på en mobil robot.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatterne er tilknyttet University of Vigo. Hovedforfatter er Ph.D student. Med forfatter er professor og han er sitert over 800 ganger ifølge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Remote sensing. Nivå 1, Fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Tilsynelatende god kildebruk og samsvar med annen forskning.			

Evaluering:	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Tilsynelatende god kildebruk og samsvar med annen forskning.
		Er flere sider av saken belyst?	3	Tema er sammenlignet mot annen litteratur og er objektivt fremstilt.
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metoden er forklart i detalj.
		Er data av nyere dato?	3	Data er av nyere dato.
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	Papere har god kildebruk. Resultater virker å stemme overens med andre studier.
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Kan være relevant dersom vi velger å ta med automatisering av 3D skanning som en del av prosjektoppgaven.
Helhetlig vurdering			3	

A survey of scan-to-bim practices in the aec industry—a quantitative analysis							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Citation chaining	Rocha G., Mateus L.	2021	Forskningsartikkel	MDPI	scan-to-BIM; 3D laser scanning; photogrammetry; building survey; AEC industry	Skann til BIM praksis i bransjen.	3D skanning og fotogrammetri
Kort om kilden: Gir et internasjonalt overblikk over nåværende praksis for scan-to-BIM i byggebransjen.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Forfatter er PhD kandidat ved University of Lisbon. Gitt ut to publikasjoner som er sitert 22 ganger og er beskrevet som "Scan-to-BIM" spesialist i følge			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: International Journal of Geo-Information. Nivå 1, fagfeller vurdert kilde.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Bruker tilsynelatende gode kilder for å danne teoretisk rammeverk.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Diskuterer funnene sine opp mot den presenterte teorien.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Grundig forklart metode.			
		Er data av nyere dato?	3	Bruker nye kilder, og har i tillegg ny data fra kvantitativ undersøkelse.			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	2	Resultatene gjenspeiler den nåværende praksis, og bør i grove trekk kunne bekreftes av annen pågående forskning.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2	Kan brukes til å si noe om hvordan Norge arbeider med dette sammenlignet med internasjonalt nivå. Viser hvor scan-to-BIM brukes mest i bransjen osv., kan være en del nyttig statistikk som kan være med i prosjektoppgave.			
Helhetlig vurdering			3				

Game Changing Automation, Six Steps for Implementing Agile Mobile Robots							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Nettside: bostondynamics.com	Boston Dynamics	2020	Produktpresentasjon	Boston Dynamics	-	Mobile roboter byggebransjen	3D skanning og fotogrammetri/Automatisering/Robotisering
Kort om kilden: Beskriver bruksområder og fordeler ved bruk av roboten "Spot", samt en plan på hvordan kunder kan vurdere implementeringen av produktet.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Boston Dynamics er en kjent utvikler av roboter, og er en av de ledende bedriftene innen dette feltet. Boston Dynamics har imidlertid egeninteresser ved å presantere deres eget produkt.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	1	Ikke en forskningsartikkel, og dermed ikke produsert under en tidsskrift.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	1	Det brukes ikke forskningslitteratur som kilder. Det er derimot nyttig eksempler fra deres kunder av hvordan roboten er brukt, noe som kan øke troverdigheten av innholdet i noen grad.			
		Er flere sider av saken belyst?	1	Det er utelukkende beskrevet positive sider ved bruk av roboten. Dette er naturlig med tanke på at Boston Dynamics her prøver å selge deres produkt.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	1	Det forklares en metode for hvordan kunden kan se nytten ved å implementere roboten gjennom å følge en implementeringsplan. Ellers er ikke metode for innhenting av fakta rundt roboten beskrevet.			
		Er data av nyere dato?	3	Produktpresentasjonen er av nyere dato, og produktet er enda rimelig "nytt" på markedet.			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	2	Informasjonen er forsøkt bekreftet gjennom intervjuer med nåværende kunder. Man kan imidlertid sette spørsmål til kundenes og forfatters objektivitet. Produktpresentasjonen er skrevet for potensielle kunder. Kilden må derfor benyttes med forsiktighet ettersom man spesielt kan betvile objektiviteten til forfatter. Man kan likevel hente ut nyttig informasjon om hvilke produkter som finnes på markedet, og hvilke teknologi som blir nyttet. Det er imidlertid ikke sikkert at disse løsningene er tilstrekkelig gode til at de faktisk blir benyttet/implementert av bransjen på nåværende tidspunkt.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	2				
Helhetlig vurdering			2	Må benyttes med forsiktighet.			

Scoping studies: towards a methodological framework							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Scopus	Hilary Arksey, Lisa O'Malley	2005	Forskningsartikkel	International Journal of Social Research Methodology	-	Forklare hva scoping study er.	Metodekap
Kort om kilden: Artikkelen presenterer en metodisk fremgangsmåte for et scoping study.							
Troverdighet		Er forfatter troverdig?	3	Forfatterne er tilknyttet universitetet i York. Begge er anerkjente forskere.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: International Journal of Social Research Methodology. Nivå 1, fagfeller vurdert kilde.			

Evaluering:	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Artikkelen benytter gode kilder for å forklare den presenterte metoden.
		Er flere sider av saken belyst?	3	Presenterer et nytt metodisk rammeverk basert på tilgjengelig litteratur.
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er grundig forklart.
		Er data av nyere dato?	3	Data er fra rundt 2000. Metodelitteratur har endret seg svært lite fra den tid og litteratur vurderes til relevant tross eldre dato.
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Dette er et sentralt verk knyttet til metode, og er sitert flere tusen ganger. Informasjon er nøyaktig.
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Brukes til å forklare fremgangsmåte for litteratursøket vårt.
Helhetlig vurdering			3	

Scoping studies: advancing the methodology							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Scopus	Danielle Levac, Heather Colquhoun, Kelly K O'Brien	2010	Forskningsartikkel	Implementation Science	-	Forklare scoping study.	Metodekap
Kort om kilden: Forklarer fremgangsmåte for scoping studies.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatterne har tilknytning til School of Rehabilitation Science, McMaster University. Alle forfattere er sitert flere tusen ganger på sine utgitte verker.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift: Implementation Science. Nivå 1, fagfellevurdert kilde.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Artikkelen bruker en rekke kjente verk gi ulike definisjoner på scoping studies.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Ja bruker flere kilder for å få frem ulike definisjoner.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Presentere gjeldene metode, og kommer opp med forberigner på disse.			
		Er data av nyere dato?	3	Data er fra rundt midten av 2000-tallet. Metodelitteratur har endret seg svært lite fra den tid og litteratur vurderes til relevant tross eldre dato.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Informasjon kan bekrefte av andre kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Brukes til å forklare fremgangsmåte for litteratursøket vårt.			
Helhetlig vurdering			3				

Nasjonal strategi for kunstig intelligens							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Presentasjon av AI forsker Inga Strumke	Kommunal- og moderniseringsdepartementet	2020	Nasjonal strategi/rapport	Kommunal- og moderniseringsdepartementet	-	Innhente teori AI	AI
Kort om kilden: Forklarer nasjonal strategi for kunstig intelligens							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Troverdig kilde.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Ikke forskningsartikkel. Utgiver er Kommunal- og moderniseringsdepartementet.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Viser blant annet til statistikk fra SSB.			
		Er flere sider av saken belyst?	2	Optimistisk holdning.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	-	Ikke relevant			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Viser til statistikk.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Viser Norges overordnede holdning til AI.			
Helhetlig vurdering			3				

Maskinlæring							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
SNL søk	Tidemann, Axel; Elster, Anne Cathrine	2019	Artikkel i oppslagsverk	Snl	-	Innhente teori maskinlæring	AI
Kort om kilden: Forklarer begrepet maskinlæring							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatter har doktorgrad fra NTNU, og har jobbet med AI i SINTEF. Forfatter er sitert 143 ganger ifølge Researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	SNL er kontrollert av fagansvarlige. SNL er eid av de største norske universitetene. Kildene er sporbar.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Viser en bred tilnærming.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	-	Ikke relevant			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Presise forklaringer på sentrale begreper.			
Helhetlig vurdering			3				

Kunstig intelligens, Dyplæring, Mønstergjennkjenning							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
SNL søk	Tidemann, Axel	2020-2021	Artikkel i oppslagsverk	Snl	-	Innhente teori AI	AI
Kort om kilden: Forklarer begrepene AI, dyplæring og mønstergjennkjenning							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatter har doktorgrad fra NTNU, og har jobbet med AI i SINTEF. Forfatter er sitert 143 ganger ifølge Researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	SNL er kontrollert av fagansvarlige. SNL er eid av de største norske universitetene. Kildene er sporbar.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Viser en bred tilnærming.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	-	Ikke relevant			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Presise forklaringer på sentrale begreper.				
Helhetlig vurdering			3				

Lean construction							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Pensum bok	Kalsaas, Bo Terje	2017	Bok	Fagbokforlaget	-	Produksjonsledelse	Diverse
Kort om kilden: Forklarer sentrale områder innen prosjektledelse og Lean construction							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatter har tilknytning til universitetet i Agder. Forfatter er sitert 266 ganger ifølge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Utgiver gir ut fagbøker fra flere kjente fagbokforfattere.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Viser en bred tilnærming.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	-	Ikke relevant			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Presise forklaringer på sentrale begreper.				
Helhetlig vurdering			3				

BIM! Program og prosess							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Pensum bok	Hjelseth, Eilif; Tollnes, Tor	2019	Bok	-	-	Definere BIM	Digitisering
Kort om kilden: Forklarer sentrale områder innen BIM og ny teknologi i byggebransjen.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatter har tilknytning til NTNU. Forfatter er sitert 220 ganger ifølge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	1	-			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Viser en bred tilnærming.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Kilder beskrevet			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Presise forklaringer på sentrale begreper.				
Helhetlig vurdering			3				

A Companion to Qualitative Research							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Fra veilder	Flick, Uwe; Kardoff, Ernst von; Steinke, Ines	2004	Bok	SAGE	-	Triangulering forklaring. Metode	Metodekap
Kort om kilden: Forklaring av triangulering, og momenter i forhold til metode kapittel.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatter har tilknytning til Frie Universitet Berlin. Forfatter er sitert over 19000 ganger ifølge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Forlag Nivå 2, fagfelleurdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Drøftende rundt tema.			

Evaluering:	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	-
		Er data av nyere dato?	3	Urelevant innen dette tema.
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Begreper som kan brukes i metode.
Helhetlig vurdering			3	

The Quality Implementation Framework: A Synthesis of Critical Steps in the Implementation Process							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior (Tilhørende masteroppgave)	Duncan C. Meyers, Joseph A. Durlak, Abraham Wandersman	2012	Forskningsartikkel	American Journal of Community Psychology	-	Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon
Kort om kilden: Forklaring av implementeringsprosesser.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Hovedforfatter har tilknytning til University of South Carolina, . Forfatter er sitert over 944 ganger ifølge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Drøftende rundt tema.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Tilstrekkelig mtp. tema.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Implementeringsprosesser kan brukes i metode.			
Helhetlig vurdering			3				

The NEW Meaning of Educational Change							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior (Tilhørende masteroppgave)	Michael Fullan	2016	Bok	Teachers College Press	-	Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon
Kort om kilden: Forklaring av implementeringsprosesser.							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Hovedforfatter har tilknytning til University of Toronto, . Anerkjent forfatter.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Forlag Nivå 1, fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Drøftende rundt tema.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Nyere dato.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Implementeringsprosesser kan brukes.			
Helhetlig vurdering			3				

Organizational Change Management: An Essential Part of the Service Management Journey							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
The introduction of AI in the construction industry and its impact on human behavior (Tilhørende masteroppgave)	Roy Atkinson	2015	Artikkel	HDI	-	Implementering teori	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Kort om kilden: Forklaring av implementeringsprosesser.							
Troverdighet		Er forfatter troverdig?	2	Forfatter er senior writer i HDI International Certification Standards			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	1	Ukjent om fagfelleverdert, tilknyttet HDI			

Evaluering:	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.
		Er flere sider av saken belyst?	3	Drøftende rundt tema.
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Noe forklart
		Er data av nyere dato?	3	Tilstrekkelig for temaet.
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Implementeringsprosesser kan brukes.
	Helhetlig vurdering			2

Elements of AI							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Nasjonal strategi for kunstig intelligens	Helsingfors Universitet, Reaktor, Feed, NTNU, Norwegian Open Artificial Intelligence Lab	2018	Nettkurs	Helsingfors Universitet	-	Teori	AI
Kort om kilden: Kurs i ulike sider av AI							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	2	Forfatter ikke kjent, men innholdet er backed av signifikante institusjoner			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Nettkurs er kontrollert av flere institusjoner som har oversatt osv.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Drøftende rundt tema.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Gir bred innsikt rundt AI.			
	Helhetlig vurdering			3			

Research Roadmap Report CIB Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS)							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Boken BIM! Program og prosess	R. Owen, A. Amor, J. Dickinson, P. Matthijs, A. Kiviniemi	2013	Rapport	CIB Publications	-	BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Kort om kilden: Forklarer Integrated Design and Delivery Solutions (IDDS)							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Associate Professor Robert L Owen (Queensland University of Technology, AU)			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift Nivå 0. Ifølge paperert er det fagfelleverdert av navngitte personer tilknyttet akademien.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Drøftende rundt tema.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er forklart.			
		Er data av nyere dato?	2	Noe eldre dato, må vurderes ved bruk hvert tilfelle.			
		Kan informasjon bekrefte av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Relevant i digitaliseringskapittel.			
	Helhetlig vurdering			3			

BIM UNDERSTANDING AND ACTIVITIES							
Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
Construction 4.0 a survey of research trends.	Eilif Hjelseth	2017	Konferansepaper	WIT Transactions on The Built Environment	-	BIM	Digitisering, digitalisering og digital transformasjon.
Kort om kilden: Forklarer BIM							
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatter har tilknytning til NTNU. Forfatter er sitert 220 ganger ifølge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift Nivå 1. Fagfelleverdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Flere sider er belyst.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato.			

		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Relevant i digitaliseringskapittel.
	Helhetlig vurdering		3	

Hierarchies of Understanding: Preparing for A.I.

Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
The Introduction of AI in the Construction Industry and Its Impact on Human Behavior	Scott A. Carpenter , Catherine Liu , Weixun Cao , Allen Yao	2018	Konferansepaper	Springer International Publishing	-	Teori	AI
Kort om kilden:	Forklarer sammenhengen AI mot menneske. Og framtidigemuligheter for utvikling.						
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	1	Forfatter har PhD fra Nova Southeastern University. Han har publisert flere forskningsartikler, men er lite sitert ifølge researchgate.			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift Nivå 1. Fagfellevurdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	2	Flere sider er delvis belyst.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	2	Metode er lite forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato.			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	2	Lite bruk av kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Relevant i AI kapittel.			
Helhetlig vurdering			2				

The Power of Human-machine Collaboration: Artificial Intelligence, Buisness Automation, and the Smart Economy

Opphav til kilde	Forfatter	År	Type tekst	Utgiver	Nøkkelord	Formål	Relevant fagområde
The Introduction of AI in the Construction Industry and Its Impact on Human Behavior	Charlyne Bolton, Veronika Machová, Mária Kováčová, Katarína Valášková	2018	Konferansepaper	Economics, Management, and Financial Markets	-	Teori	AI
Kort om kilden:	Forklarer områder innen AI.						
Evaluering:	Troverdighet	Er forfatter troverdig?	3	Forfatter har tilknytning til Australasian Center for Knowledge Governance at CSA, Melbourne. Medforfattere er fra andre universiteter, University of			
		Er tidsskrift troverdig? (Score på BHD)	3	Tidsskrift Nivå 1. Fagfellevurdert.			
	Objektivitet	Samsvar med annen forskning?	3	Samsvarer med annen forskning.			
		Er flere sider av saken belyst?	3	Flere sider av saken er belyst.			
	Nøyaktighet	Er metoden godt forklart?	3	Metode er forklart.			
		Er data av nyere dato?	3	Av nyere dato.			
		Kan informasjon bekreftes av minst to andre kilder?	3	Sammenlignet mot flere kilder.			
	Egnethet	Relevant for prosjektoppgave?	3	Relevant i AI kapittel.			
Helhetlig vurdering			3				

A.9 Ervervet litteratur våren 2022

Opphav til kilde	Forfattere	Tittel	År	Type tekst	Utgiver	Formål	Relevant fagområde
Fra programvareplattform	Imerso	Brukermanual: Automatic Deviation Detection	2020	Webapplikasjon	Imerso	Forklare Imerso programmet	3D skanning og fotogrammetri
Fra intervjuobjekt i AF Gruppen	Jevarunen, N.	Bruk av 3D laserskanning i byggeprosjekter for kvalitetssikring i produksjonsfasen	2021	Masteroppgave	Universitet i Stavanger	Tidligere forskning på 3D skanning for KS	3D skanning og fotogrammetri
Snowball Nguyen et. al (2020). Application of BIM and 3D Laser Scanning for Quantity Management in Construction Projects. (kilde ikke brukt i oppgaven)	Randall, T.	Construction Engineering Requirements for Integrating Laser Scanning Technology and Building Information Modeling	2011	Forskningspaper	Journal of Construction Engineering and Management	Tidligere forskning på 3D skanning og BIM	3D skanning og fotogrammetri
Fra veileder	Liu, J., Xu, D., Hyyppä, J. & Liang, Y.	A Survey of Applications With Combined BIM and 3D Laser Scanning in the Life Cycle of Buildings	2021	Forskningspaper	IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing	Tidligere forskning på 3D skanning og BIM	3D skanning og fotogrammetri
Google Søk	buildingSMART	IM Collaboration Format (BCF).	u.d	Nettside	-	Forklare BCF filformat	Digitalisering, BIM.
Google Søk	Gressgård, L.	Organisatorisk forhold med betydning for adopsjon, implementering og bruk av BIM: En kunnskapsoppsummering	2021	Forskningsrapport	NORCE Samfunn	Implementering av BIM	Digitalisering, BIM.
Google Søk	DIBK	Kapittel 6.2. Åpent og lukket avvik i Temaveileder uavhengig kontroll.	u.d	Nettside	Direktoratet for byggkvalitet	Beskrivelse av avvik	Kvalitet
Google Søk	DIBK	Kapittel 10 Krav til kvalitetssikring i Byggesaksforskriften (SAK10) med veiledning.	2016	Nettside	Direktoratet for byggkvalitet	Byggesaksforskriften (SAK10)	Kvalitet
Google Søk	DIBK	Kapittel 5 Søknad og dokumentasjon i Byggesaksforskriften (SAK10) med veiledning.	2016	Nettside	Direktoratet for byggkvalitet	Byggesaksforskriften (SAK10)	Kvalitet
Opparbeidet kildedatabase fra studier	Ingvaldsen, T. & Edvardsen, D. F.	Effektivitetsanalyse av byggeprosjekter - Måle- og analysemetode basert på referansetesting av 122 norske boligprosjekter fra perioden 2000-2005	2007	Forskningsrapport	SINTEF Byggforsk	Produktivitet i BA-bransjen (potensiale)	Kvalitet
Google Søk	Ingvaldsen, T.	Byggskadeomfanget i Norge (2006) - En vurdering basert på et tidligere arbeid og nye data	2008	Forskningsrapport	SINTEF Byggforsk	Eksistens av byggfeil	Kvalitet
Snowball Ingvaldsen (2008)	Ingvaldsen, T.	Byggskadeomfanget i Norge - Utbedringskostnader i norsk bygge-/eiendomsbransje- og erfaringer fra andre land	1994	Forskningsrapport	Byggforsk	Eksistens av byggfeil	Kvalitet
Opparbeidet kildedatabase fra studier	Josephson, P.-E. & Björkman, L.	31 recommendations for increased profit: reducing waste	2011	Forskningsrapport	Centre for Management of the Built Environment, Chalmers University of Technology	Produktivitet i BA-bransjen	Kvalitet
Opparbeidet kildedatabase fra studier	Lædre, O.	Er det noen sak? Forebygging og håndtering av tvister i bygg- og anleggsprosjekter	2009	Bok	Tapir Akademisk Forlag	Konflikter og tvister	Kvalitet
Google Søk	Sabri, O. K. & Torp, O. (	Corrective and Preventive Action Plan (CAPA) for Disputes in Construction Projects: A Norwegian Perspective.	2022	Forskningspaper	Infrastructures	Konflikter og tvister	Kvalitet
Google Søk. Henger sammen med Ingvaldsen (2008)	SINTEF Byggforsk	Unngå byggskader	2020	Nettside	SINTEF Byggforsk	Eksistens av byggfeil	Kvalitet
Google Søk	Todsen, S.	Produktivitetsfall i bygg og anlegg	2018	Nettside	SSB	Produktivitetsnivå	Kvalitet

B | Intervjuguide

B.1 Intervjuguide, Hoved

NTNU Trondheim, Vår 2022
Preben Aase, prebeaas@stud.ntnu.no, tlf: 905 50 536
Marius Midtun Egeland, mariumeg@stud.ntnu.no, tlf: 995 81 570



Intervjuguide

Hvordan kan kvalitetssikring med 3D laserskanning optimaliseres for å oppnå størst mulig nytteverdi?

Dette intervjuet er en del av en masterstudie som utføres av Preben Aase og Marius Midtun Egeland, studenter i Bygg- og Miljøteknikk ved NTNU. Studien utføres i samarbeid med Construction City Cluster og AF Gruppen, og omhandler bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring. Hensikten med forskningen er å bidra til utviklingen av brukervennlige og lønnsomme løsninger for kvalitetssikring (KS) i byggeprosjekters produksjonsfase.

Studien har som formål å besvare følgende forskningsspørsmål:

FS1: Har AF Gruppens byggeprosjekter som benytter seg av 3D laserskanning for kvalitetssikring bedre kvalitet enn prosjekter med tradisjonell form for kvalitetssikring?

FS2: Hvilke forutsetninger er nødvendig for at 3D laserskanning for kvalitetssikring skal fungere optimalt i AF Gruppens byggeprosjekter?

FS3: Hvordan kan teknologisk utvikling gi større nytteverdi ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring i fremtiden?

Praktisk informasjon vedrørende intervjuet:

- Det er frivillig å delta i intervjuet. Ved å delta samtykker du på at personinformasjon som navn, aldersgruppe, stilling og arbeidserfaring, samt opptak av intervjuet lagres til prosjektslutt, 11.06.2022.
- Dersom det er ønskelig, har intervjuobjekter mulighet til å være anonyme.
- Dersom det er punkter rundt temaet som ikke er adresseres i intervjuguiden oppfordres deltakerne til å ta opp disse.
- Det er ønskelig å dokumentere intervjuet med lydopptak for å unngå forstyrrelser under intervjuet som følge av notering.
- Det sendes et kort referat av intervjuet til hvert intervjuobjekt for godkjenning i ettertid.
- Intervjuet estimeres til å vare i ca. 1 - 1,5 time.

Videre presenteres spørsmål som vil bli benyttet som utgangspunkt for intervjuet:

NTNU Trondheim, Vår 2022
Preben Aase, prebeaas@stud.ntnu.no, tlf: 905 50 536
Marius Midtun Egeland, mariumeg@stud.ntnu.no, tlf: 995 81 570



Intro

1. Om informant.
 - a. Navn, aldersgruppe, stilling, arbeidserfaring, oppgave på prosjekt?
2. Om prosjektet.
 - a. Type, størrelse, kontrakt, byggherre, spesielle sider?
3. Om KS.
 - a. Hvilke kommunikasjonsform, rutiner og utstyr?
 - b. Når benyttes 3D laserskanner?

Hvilke momenter ved KS med 3D skannere gir verdi for entreprenør?

1. Oppdages flere avvik?
 - a. Ville disse avvikene blitt oppdaget ved tradisjonell KS?
 - b. Hvilke typer avvik oppdages?
 - c. Hvor mange av disse avvikene krever utbedring eller endringer?
2. Oppdages avvikene tidligere?
 - a. Blir avvikene utbedret raskere?
 - b. Når avviksmeldingene raskere frem til dem som skal utbedre?
3. Er KS prosessen raskere?
 - a. Hvilke deler av prosessen tar mest tid?
 - b. Erstatte 3D skanneren annet utstyr?
 - c. Gjøres tradisjonell KS i tillegg?
4. Blir dokumentasjon av kvaliteten bedre?
 - a. Hva brukes dokumentasjonen til?
 - b. Brukes dokumentasjon fra 3D skann i tillegg til tradisjonell dokumentasjon?
5. Blir tegningsunderlaget bedre?
 - a. Endres tegninger ved avvik?
 - b. Endres tegningene oftere?
 - c. Ser du et behov for at tegningene skal endres oftere?
6. Bedre digital tvilling?
 - a. Hva brukes den digitale tvillingen til?
 - b. Endres den digitale tvillingen ved avvik?
 - c. Ser du et behov for å endre den digitale tvillingen oftere?
7. Gir 3D skanning bedre oversikt for prosjektledelsen?
 - a. Benyttes 3D skanningsdataen for å få en indikasjon på kvalitet?
 - b. Benyttes 3D skanningsdata av prosjektledelsen mtp. fremdrift?
 - c. Fører 3D skanning til mindre behov for fysisk tilstedeværelse på plassen?
8. Fører 3D skanning til...
 - a. Bedre kvalitet?
 - b. Økt lønnsomhet?
 - c. Færre forsinkelser?
 - d. Økt sikkerhet?
 - e. Mindre konflikt?
9. Hva opplever du som den største verdien med verktøyet?

NTNU Trondheim, Vår 2022
Preben Aase, prebeaas@stud.ntnu.no, tlf: 905 50 536
Marius Midtun Egeland, mariume@stud.ntnu.no, tlf: 995 81 570



Hvilke forutsetninger kreves for optimal bruk av 3D laserskanner for KS?

1. Stilles det krav til BIM modellen?
 - a. Er BIM modellens kvalitet tilstrekkelig?
 - b. Hvilke absolutte krav må stilles for BIM?
2. Er BIM modellen definert som arbeidsgrunnlag?
 - a. Brukes BIM modellen i praksis på byggeplass?
3. Hvordan er oppfølgingen av BIM modell ift. evt. BIM manual eller BIM krav?
4. Hvordan vurderer du prosjektledelsen sine digitale evner?
 - a. Oppfatter du programmene som nyttes som kompliserte?
 - b. Hvor mye opplæring er nødvendig for å bruke verktøyet?
5. Er det et optimalt antall ansatte som driver med KS på prosjektet?
 - a. Er det gjennomført en form for opplæring?
6. Følger dere en plan for systematisk KS på prosjektet?
 - a. Benytter dere et felles system for KS på AFs prosjekter?
7. Finnes det rutiner for oppdatering av arbeidsunderlag eller digital tvilling?
 - a. Evt. hvor ofte og i hvilket omfang?
8. Har dere ett system for ryddig byggeplass?
 - a. Har ryddighet en påvirkning på 3D skann?
9. Innehar UEr kunnskap om KS ved 3D skann?
 - a. Hva er UEs tilbakemeldinger?
 - b. Blir UEr involvert i KS?
 - c. Har Uer tilstrekkelig digital kompetanse til det digitale KS systemet?
10. Har prosjektet tilstrekkelig datautstyr og internettkvalitet?
 - a. Har byggeplassen god nok dekning?
 - b. Benytter UEr seg av mobil for oppfølging av KS på byggeplass?
11. Fungerer 3D skann bedre på noen områder eller elementer enn andre?
 - a. Trange områder?
 - b. Ulike faser?
 - c. Ulike materialer?
 - d. Kompliserte overflater?
12. Har andre rammefaktorer hatt en betydning for KS system og antall registrerte avvik?
 - a. Gjennomføringsmodell?
 - b. Tidlig involvering?
 - c. Type byggherre?
13. Ville dere gjort noe annerledes neste gang dere tar verktøyet i bruk?

Hvilke utfordringer gir begrensinger ved KS med 3D laserskanner?

1. Oppleveres det utfordringer knyttet til prosesseringstid?
 - a. Hvor lang tid tar det for ulike områder?
2. Er det utfordrende å stille inn skannerinstillinger?
 - a. Hvilke innstillinger må typisk endres?
3. Oppleveres det som tidkrevende å skanne?
 - a. Benyttes det en plan for hvor og når en skal skanne?
 - b. Hvor mange skanninger må utføres per område?
4. Oppleveres det som tidkrevende å søke etter avvik?

NTNU Trondheim, Vår 2022
Preben Aase, prebeaas@stud.ntnu.no, tlf: 905 50 536
Marius Midtun Egeland, mariumeg@stud.ntnu.no, tlf: 995 81 570



- a. *Hvilken metode brukes for å detektere avvikene?*
- b. *Er prosessen koblet opp mot toleranseklasser (NS)?*
- c. *Finnes det mange avvik uten praktisk betydning?*
5. *Opplevs det som tidkrevende å opprette avviksmeldinger?*
 - a. *Hvordan utføres denne prosessen?*
 - b. *Hva er gjennomsnittlig behandlingstid?*
6. *Opplevs KS prosessen som mannskapsekrevende i prosjektet?*
 - a. *Hvor mange personer jobber aktivt med oppfølging av KS*
 - b. *Hvor mange jobber direkte med 3D skanning i prosjektet?*
7. *Gir 3D skanneren nøyaktige nok resultater?*
 - a. *For betongproduksjon?*
 - b. *For innvendige arbeider?*
 - c. *Andre materialer, fag eller faser?*
8. *Opplevs det problemer som følge av rot, utstyr eller verktøy?*
 - a. *Utføres det klargjøring av området før skanning?*
9. *Opplevs det feil eller unøyaktige resultater?*
 - a. *Når?*
 - b. *I hvilket omfang?*
10. *Opplevs utstyret og programmer som dyrt i forhold til nytten?*
11. *Hvordan opplevs supporten fra leverandør av utstyr og program?*
 - a. *Har det blitt gjennomført kurs?*
12. *Hva opplever som den største utfordringen med verktøyet?*
 - a. *Hvordan kan disse utfordringene bli utbedret?*

Avslutning

1. *Har du konkrete eksempler på situasjoner som omhandler tema?*
 - a. *Konkrete avvik*
 - b. *Konflikter*
 - c. *Utfordringer*
2. *Har du tips til andre informasjonskilder vi bør vurdere å undersøke nærmere?*
 - a. *Dokumenter, personer, prosesser osv.*
3. *Er det noe vi ikke har spurt om som du finner relevant for tema?*

Vi takker så mye for din tid og ditt bidrag!

Ved spørsmål eller tips, ta gjerne kontakt.

Med vennlig hilsen

Preben Aase og Marius Midtun Egeland

B.2 Intervjuguide, Sekundær

NTNU Trondheim, Vår 2022
Preben Aase, prebeaas@stud.ntnu.no, tlf: 905 50 536
Marius Midtun Egeland, mariumege@stud.ntnu.no, tlf: 995 81 570



Intervjuguide

Hvordan kan kvalitetssikring med 3D laserskanning optimaliseres for å oppnå størst mulig nytteverdi?

Dette intervjuet er en del av en masterstudie som utføres av Preben Aase og Marius Midtun Egeland, studenter i Bygg- og Miljøteknikk ved NTNU. Studien utføres i samarbeid med Construction City Cluster, AF Gruppen og Betonmast, og omhandler bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring. Hensikten med forskningen er å bidra til utviklingen av brukervennlige og lønnsomme løsninger for kvalitetssikring (KS) i byggeprosjekters produksjonsfase.

Studien har som formål å besvare følgende forskningsspørsmål:

FS1: Har AF Gruppens byggeprosjekter som benytter seg av 3D laserskanning for kvalitetssikring bedre kvalitet enn prosjekter med tradisjonell form for kvalitetssikring?

FS2: Hvilke forutsetninger er nødvendig for at 3D laserskanning for kvalitetssikring skal fungere optimalt i AF Gruppens byggeprosjekter?

FS3: Hvordan kan teknologisk utvikling gi større nytteverdi ved bruk av 3D laserskanning for kvalitetssikring i fremtiden?

Praktisk informasjon vedrørende intervjuet:

- Det er frivillig å delta i intervjuet. Ved å delta samtykker du på at personinformasjon som navn, aldersgruppe, stilling og arbeidserfaring, samt opptak av intervjuet lagres til prosjektslutt, 11.06.2022.
- Dersom det er ønskelig, har intervjuobjekter mulighet til å være anonyme.
- Dersom det er punkter rundt temaet som ikke er adresseres i intervjuguiden oppfordres deltakerne til å ta opp disse.
- Det er ønskelig å dokumentere intervjuet med lydopptak for å unngå forstyrrelser under intervjuet som følge av notering.
- Intervjuet estimeres til å vare i ca. 1 - 1,5 time.

Videre presenteres spørsmål som vil bli benyttet som utgangspunkt for intervjuet

Intro

1. Om informant.
 - a. Navn, aldersgruppe, stilling, arbeidserfaring og typiske oppgaver
2. Generelt inntrykk 3D skanning for KS

NTNU Trondheim, Vår 2022
Preben Aase, prebeaas@stud.ntnu.no, tlf: 905 50 536
Marius Midtun Egeland, mariumeg@stud.ntnu.no, tlf: 995 81 570



Hvilke faktorer er avgjørende for et godt KS system?

1. KS system konsern
2. Prosjektspesifikk KS system (prosjektplan eller gjennomføringsplan)
3. Kvalitetsplan og kontrollplan
4. Alle sjekklister og sånt (underlaget av kontrollene som kommer inn)

Vurderes det å integrere 3D skanning i KS systemet? Lage veildere?

1. Har det blitt vurdert å integrere 3D skanning i KS systemet?
2. Vil en utstrakt bruk av 3D skanning for KS føre til endringer i KS systemet?

Hvordan kan 3D skanning potensielt integreres i et KS system?

1. Rollefordeling, fordeling av ansvar
2. Kommunikasjonskanaler
3. Omfang av bruk
4. Skanningsplan knyttet opp mot fremdriftsplan
5. Krav til behandlingstid
6. Integrere i fremdriftsmøter/KS møter?
7. Planlagt samarbeid og kommunikasjon eller uanmeldte stikkprøver?
8. Krav til hva det skal brukes til, og hvordan dette skal fungere
 - a. Avvikshåndtering
 - b. Dokumentasjon
 - c. Prosjektstyring
 - d. Fremdriftsstyring
 - e. Sikkerhet
9. Krav til prosjektspesifikk plan?
 - a. Involvering av prosjektledelse
 - b. Involvering av UE
 - c. Involvering av BH
 - d. Trange rom – hotell
 - e. Størrelse på bygg
 - f. Mye glass
10. Hvordan skape intern motivasjon?

Kontinuerlig forbedring

1. Kontinuerlig læring
 - a. Statistikk
 - b. Praksisfellesskap
2. Opplæring og kurs?

NTNU Trondheim, Vår 2022
Preben Aase, prebeaas@stud.ntnu.no, tlf: 905 50 536
Marius Midtun Egeland, mariumeg@stud.ntnu.no, tlf: 995 81 570



Overgangen mellom UE og tot. entreprenør:

1. Involvering av UE?
2. Påvirker 3D skanning UE IK?
3. Finnes det en mulighet til å overføre kostnader til UE ved oppdagelse av avvik / mangelfull egenkontroll?
4. Dokumentasjon
 - a. Juridisk troverdighet?
5. Endre kontrakter?

Overgangen mellom prosjekterende og tot. entreprenør:

1. Hvem har ansvar for at tegninger stemmer overens med det som er faktisk bygget?
2. Digitale samhandlingsrutiner?
3. Hvor likt må det som bygges være BIM modell eller tegning?
4. Hvordan er mulighetene for å kreve en kontinuerlig oppfølging og oppdatering av BIM modell?
5. Dokumentasjon
 - a. Juridisk troverdighet?

Vi takker så mye for din tid og ditt bidrag!

Ved spørsmål eller tips, ta gjerne kontakt.

Med vennlig hilsen

Preben Aase og Marius Midtun Egeland

C | Avviksanalyse

Dette dokumentet viser ulike avvikstyper registrert med 3D laserskanning. Med bakgrunn i kommunikasjon og kommentarer fra ingeniører på byggeprosjektene er mulige alternativer for løsninger på avvikene og deres konsekvens vurdert. Avvikene stammer fra seks byggeprosjekter til AF Gruppen og Betonmast. Dataene består av fire intervjuer, to avviksregistre i Imero, samt en erfaringspresentasjon.

Hensikten med dette bilaget er at det skal kunne fungere som en støtte til å lage en plan for 3D skanningen i et prosjekt, ved å belyse hvilke typer avvik som det er mest hensiktsmessig å fokusere 3D laserskanningen mot. Avviksanalysen kan også fungere som en støtte til å vurdere lønnsomheten ved bruk av verktøyet.

I tabell 1 er potensielt spart risiko oppsummert basert på resultater fra analysen av de ulike avvikstypene som er oppdaget i de studerte prosjektene. Risikobesparelsen er vurdert ut fra en vektet sammenheng av den forventede frekvensen av avvikstypen, avvikstypens gjennomsnittlige effekt på fremdrift og kostnad samt hvor vanskelig feilen er å oppdage tidlig ved visuell tradisjonell kontroll.

Det bemerkes at det er en kvalitativ vurdering av de ulike faktorene, og ikke summen av tallene i skalaen, som avgjør valg av kategori for spart risiko. En høy konsekvens, eller frekvens er her veid høyere enn vanskelighetsgrad for tidlig visuell deteksjon. Begrunnelsen for dette er funn i flere intervju. Et intervjuobjekt har blant annet erfart at deteksjon av kun ett svært alvorlig avvik med skanner kan dette være nok til å dekke inn hele utgiften for skanningen på prosjektet. Et annet intervjuobjekt har erfart at en stor mengde mindre alvorlige avvik fører til mange mindre forsinkelser, noe som igjen kan ødelegge flyten av produksjonen og føre til misnøye blant UEene. Dette kan igjen påvirke produksjonen og medvirke til nye feil og avvik.

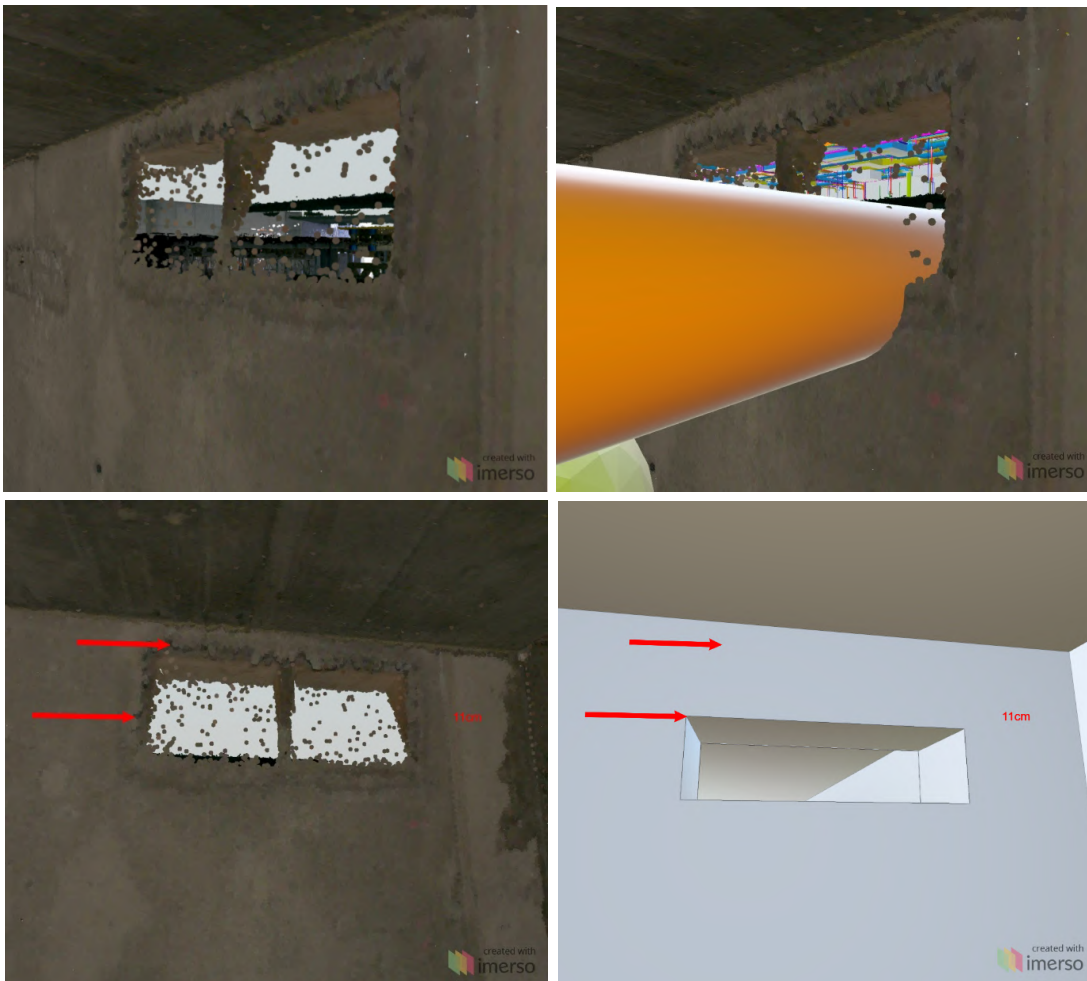
Det følger i dette bilaget med en drøfting av alle avvikene og den potensielle sparte risikoen. Denne vurderingen baserer seg på en "verste tilfelle" tilnærming hvor det drøftes rundt hvilken risiko man maksimalt kan spare, ved bruk av 3D laserskanning for KS. Det presiseres at selv om det settes en verdi hvor både frekvens og alvorlighetsgrad for avvikene vil verdien for disse faktorene i stor grad være individuelle for hvert enkelt avvikstilfelle på byggeplassene. Disse resultatene gir en indikasjon på hvilken risikobesparelse som er mulig å oppnå basert på data fra 6 prosjekter. På bakgrunn av byggeprosjekters, så vell som avviks, unike natur er det en viss usikkerhet tilknyttet generaliserbarheten av resultatene.

Tabell 1 – Potensielt spart risiko ved bruk av 3D laserskanning for KS.

SPART RISIKO VED 3D SKANNING FOR KS				
Avvik	Frekvens	Konsekvens fremdrift/kostnad	Vanskelighetsgrad tidlig visuell deteksjon	Potensiell spart risiko
Feilplassert utsparing i betong	4	2	4	Middels +
Manglende utsparing betong	4	2	4	Middels +
Manglende utsparing i BIM modell	3	2	4	Middels
Manglende utgang for kanal i BIM modell	2	1	4	Lav -
Feilplassert oppstikk rør	3	3	4	Middels +
Feilplassert oppstikk elektro	3	2	4	Middels
Manglende rørutstikk vegg	2	2	2	Lav
Feilplassert rør	3	2	4	Middels
Feilplassert sprinklerør	3	2	4	Middels
Feilplassert kabelbro	2	2	4	Middels -
Feilplassert ventilasjonskanal	3	2	4	Middels
Loddavvik betong	3	2	3	Middels -
Planavvik betongdekke	2	3	3	Middels -
Betongdekke i feil høyde	2	3	2	Lav +
Høydeavvik prefabrikkert betongelement	2	3	2	Lav +
Feilplasserte søyler	1	4	4	Middels +
Feilplassert bjelke	1	4	4	Middels +
Feilplassert massivtrebjelke	1	4	4	Middels +
Feilplassert innervegg	2	3	3	Lav +

Feilplassert utsparing i betong

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Utføre ny hullboring

ALT 2: Flytte rør og endre modell

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Hindre forsinkelser for teknisk fag
- Riktig iht. modell
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Forsinkelser teknisk fag
- Feil i modell
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Feilplasserte utsparinger er et avvik som har en relativ høy frekvens i byggeprosjekter. Avviket har en varierende konsekvens som er avhengig av hvor stor avstand hullboringer har fra tiltenkt posisjon, og i forhold til hvilke fag som skal ha installasjoner gjennom utsparingen. Generelt er konsekvensene av et slikt avvik vurdert til å være lav,

ettersom avviket med stor sannsynlighet kun påvirker tekniske fag i et mindre område i tilknytning til hullboringen. I verste tilfellet kan man påvirke bæring ved feilplassert utsparing. I så fall vil avviket kunne ha en vesentlig større konsekvens. Dette er imidlertid vurdert til å oppstå svært sjeldent.

Det vurderes til å være vanskelig å visuelt oppdage feilplasserte utsparinger før tekniske fag skal installere sine komponenter.

Konklusjon: Frekvens 4, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Manglende utsparing betong

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Kjerneborre

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Sikrer at forbedring blir gjennomført før videre arbeider forekommer
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan gi forsinkelser når tekniske fag skal utføre arbeid
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

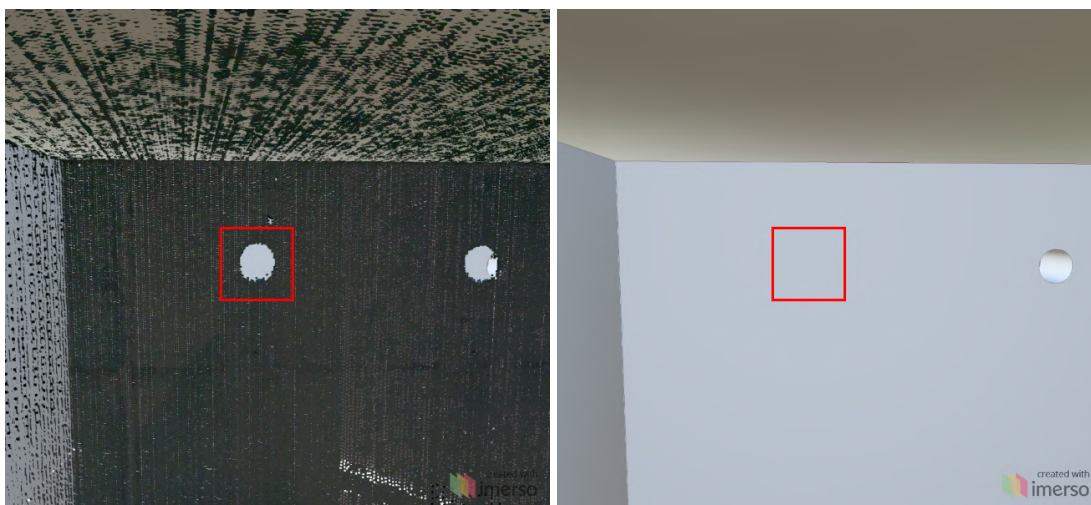
Manglende utsparinger er et avvik som har en relativt høy frekvens i byggeprosjekter. Dette avviket fører ofte til at aktører som ventilasjon, rør og elektro må vente på at det skal borres hull før de kan utføre sine arbeider. Generelt er konsekvensene av et slikt avvik vurdert til å være lav, ettersom avviket med stor sannsynlighet kun påvirker tekniske fag i et mindre område i tilknytning til hullboringen og kan relativt raskt fikses med en kjerneboring.

Det vurderes til å være vanskelig å visuelt manglende utsparinger før tekniske fag skal installere sine komponenter. Grunnen er at omfanget av utsparinger er relativt stort og det er derfor vanskelig for TE og utførende å ha oversikt over alle utsparingene på prosjektet.

Konklusjon: Frekvens 4, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Manglende utsparing i BIM modell

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Undersøke om utsparing bør tettes

ALT 2: Oppdatere modell

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Sikrer at forbedring blir gjennomført før videre arbeider forekommer
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan gi feil egenskaper ift. brann og lyd dersom det ikke oppdages og om nødvendig utbedres
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

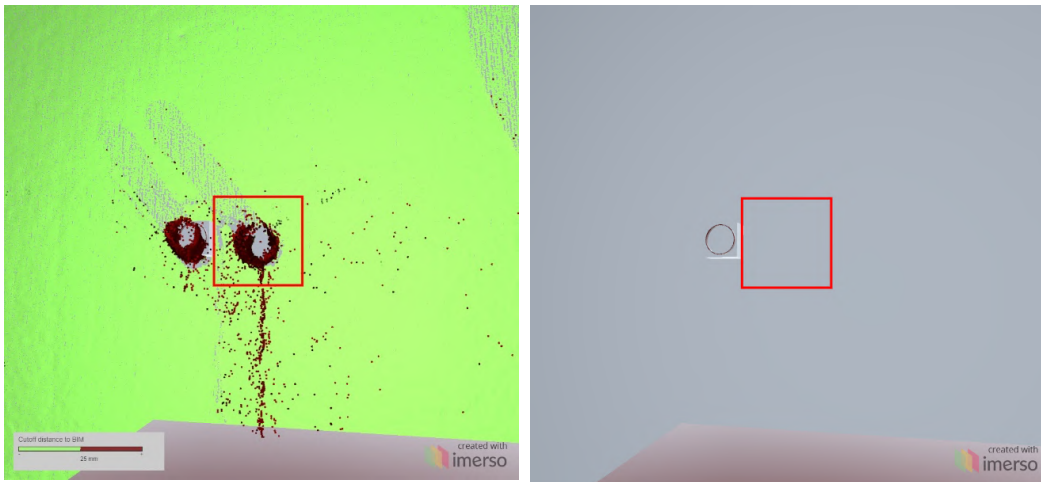
Manglende utsparinger i BIM modell er et avvik som har en nokså høy frekvens i byggeprosjekter. Potensielt kan dette føre til at tekniske fag fører sine komponenter gjennom feil hull og dermed må utføre arbeidet på nytt ved korrekt plassering, men dette er lite sannsynlig. Det er viktigere at bygget imøtekommer de tekniske kravene til brann og lyd. Dersom utsparingen ikke er tegnet opp i BIM modellen kan man risikere at utsparingen eksempelvis ikke blir branntettet. Dette er imidlertid enkelt å utbedre. Ved overflødige utsparinger i bærende betongelementer kan det oppstå problemer med bæringen til konstruksjonen, og RIB må involveres. Slike hendelser er imidlertid vurdert til å opptre svært sjeldent.

Det vurderes til å være svært vanskelig å visuelt oppdage manglende utsparinger i BIM modeller ute på byggeplass. Grunnen er at omfanget av utsparinger er relativt stort og det er derfor vanskelig for TE og utførende å ha oversikt over alle utsparingene på prosjektet. Det er imidlertid enkelt å oppdage ved en kollisjonskontroll i selve BIM modellen dersom rør skal gå gjennom utsparingen.

Konklusjon: Frekvens 3, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Manglende utgang for kanal i BIM modell

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Oppdatere modell

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Sikrer at det blir innhentet riktig mengde materialer
- Sikrer at arbeidet kan bli utført iht. fremdriftsplan
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan føre til forsinkelse
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

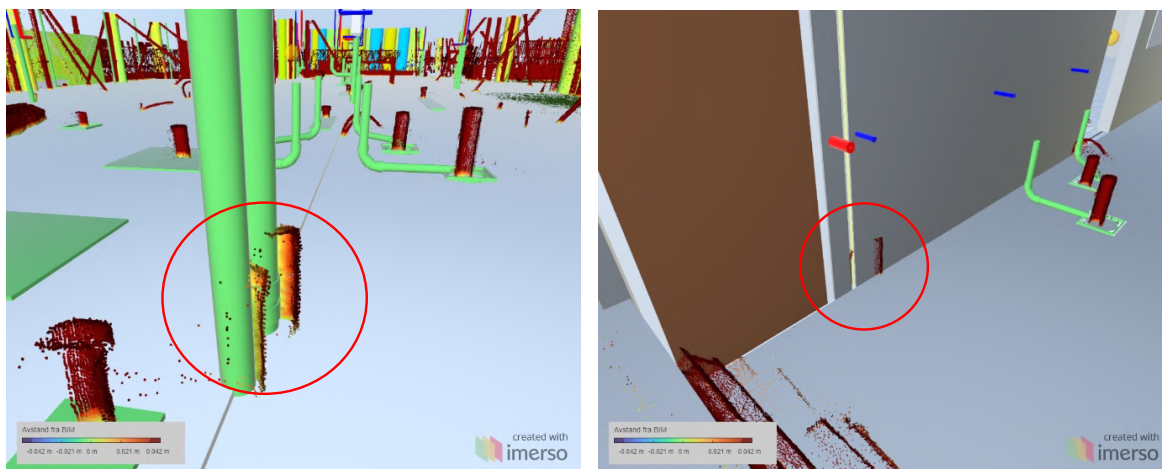
Manglende utganger for kanal i BIM modell er vurdert til lav til middels frekvens, og fører til avvik av en nokså lav konsekvensklasse. Avviket fører til at BIM modellen må sjekkes for å verifisere at utført arbeid er slik som det skal. Konsekvensene av denne avvikstypen er vurdert til å være lav fordi det i liten grad påvirker fremdriften på byggeplassen og utbedring er kun å legge inn et element i BIM modellen (om dette i det hele tatt blir vurdert som nødvendig), eventuelt så må en av utgangene tildekkes. Dersom det tas mengder ut fra BIM modellen kan et avvik som dette føre til at det eksempelvis bestilles for få deksler til utgangene, men dette er ikke noe særlig kostbart problem.

Det vurderes til å være vanskelig å visuelt oppdage manglende utganger for kanal i BIM modell ettersom BIM modellen sjelden kontrolleres mot det som faktisk er bygget.

Konklusjon: Frekvens 2, Konsekvens 1, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Feilplassert oppstikk rør

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Flytte oppstikk før støp

ALT 2: Bygge inn med gipskasse og oppdatere modell

ALT 3: Flytte lettvegg

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Sikrer at forbedring blir gjennomført før videre arbeider forekommer
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan gi forsinkelser dersom det oppstår konflikt mot andre fag
- Kan kreve økt materialbruk dersom feil ikke oppdages før gulvstøp
- Kan gi mindre praktisk og visuelt fin utførelse
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Feilplasserte oppstikkende rør har en middels frekvens, og fører til avvik av en middels konsekvensklasse. Alvorlighetsgraden avhenger i stor grad av hvor mye feilplassert røret er og om det kollidere med andre komponenter som skal monteres i nærheten, slik som eksempelvis en vegg. Dersom rør støpes inn ved feil plassering kan det potensielt føre til en del knot ved videre arbeider. Det vil da være for sent å gjøre endringer på plasseringen til rør andre tiltak slik som nevnt over er nødvendig.

Det vurderes til å være vanskelig å visuelt oppdage feilplasserte oppstikkende rør. Ettersom røroppstikk settes ut før støp har man lite referansepunkter på plassering, og det er dermed vanskelig å oppdage. Ofte ved oppstikkende rør i betong er det slik at f.eks gipsvegger og lignende ikke skal monteres før flere måneder senere, og da er det vanskelig å se visuelt hva som er riktig plassering av oppstikk.

Konklusjon: Frekvens 3, Konsekvens 3, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Feilplassert oppstikk elektro

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Flytte oppstikk før støp

ALT 2: Føre rør langs gulv

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Sikrer at forbedring blir gjennomført før videre arbeider forekommer
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan gi forsinkelser dersom det oppstår konflikt mot andre fag
- Kan gi mindre praktisk og visuelt fin utførelse
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

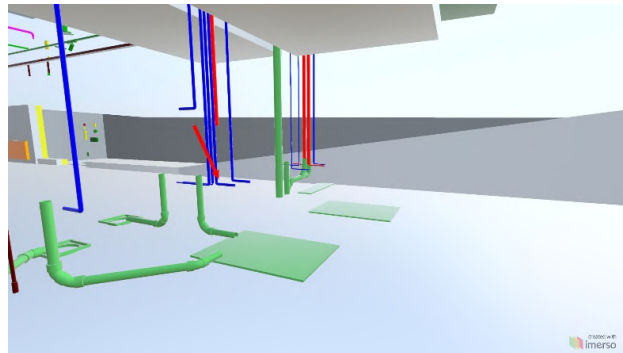
Feilplasserte oppstikkende elektro har en middels frekvens, og fører til avvik av en nokså lav konsekvensklasse. Alvorlighetsgraden avhenger i stor grad av hvor mye feilplassert elektrorørene er og om det kolliderer med andre komponenter som skal monteres i nærheten, slik som eksempelvis en vegg. Dersom røroppstikket støpes inn ved feil plassering kan det potensielt føre til en del knot ved videre arbeider. Men sammenligner vi med feilplassert oppstikkende rør så er det nok enklere å gjøre improviserte tilpasninger med elektro kontra rør. Derav kan det sies at elektro har noe lavere konsekvensgrad enn rør.

Det vurderes til å være vanskelig å visuelt oppdage feilplasserte oppstikkende elektrorør. Ettersom røroppstikk settes ut før støp har man lite referansepunkter på plassering, og det er dermed vanskelig å oppdage. Ofte ved oppstikkende rør i betong er det slik at f.eks gipsvegger og lignende ikke skal monteres før flere måneder senere, og da er det vanskelig å se visuelt hva som er riktig plassering av oppstikk.

Konklusjon: Frekvens 3, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Manglende rørutstikk vegg

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Montere rørutstikk før veggen lukkes

ALT 2: Omprosjektere

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Unngår omarbeid og forsinkelser ved å montere rørutstikk før vegg lukkes
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Potensielt omarbeid og forsinkelser for rørlegger og tømmer.
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

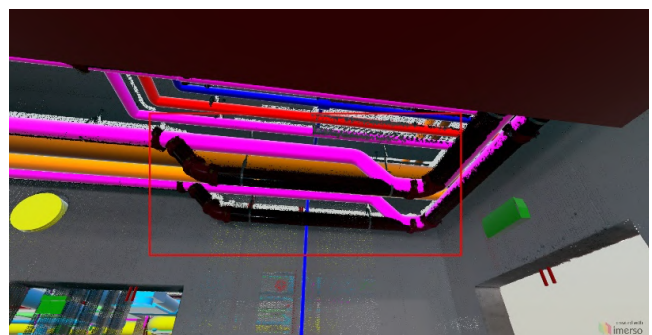
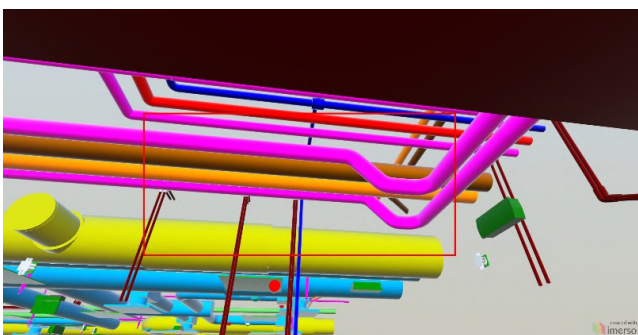
Denne avvikstypen ansees ikke som et kritisk avvik. Dersom avviket oppdages tidlig kan man unngå å måtte fjerne gips fra området på veggen for at rørlegger skal få komme til for å montere rørutstikkene.

Dersom rør stopper midt i en vegg bør dette være relativt lett synlig. Dette burde oppdages visuelt før veggen lukkes.

Konklusjon: Frekvens 2, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 2

Feilplassert rør

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Omprosjektere

ALT 2: Remontere rør

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Oppnår en korrekt modell, og unngår dermed fremtidige kollisjoner
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan gi kollisjoner dersom andre fag skal ha komponenter i samme område
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

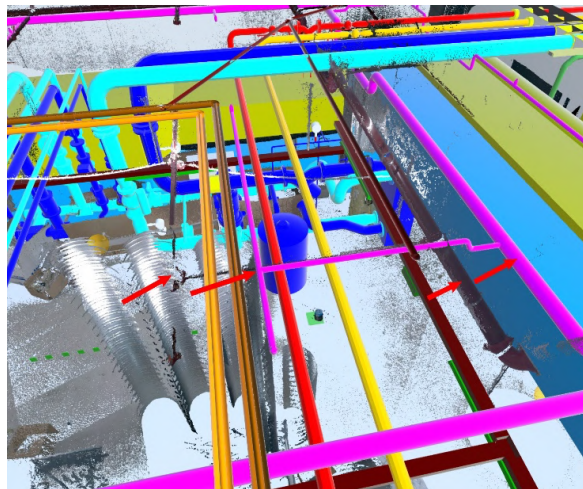
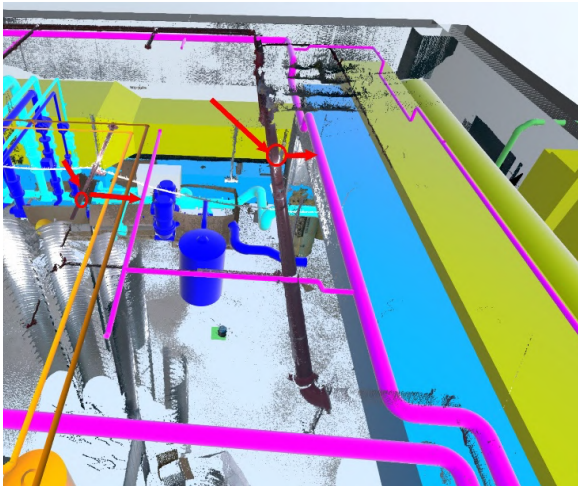
Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Denne avvikstypen ansees ikke som et kritisk avvik ettersom rør som regel kan tilpasses relativt enkelt på plassen. Flere intervjubjekter mener allikevel de uansett krever omprosjektering. Dersom de oppdages tidlig kan man unngå fremtidige kollisjoner med andre fag, som man ikke ser ute på byggeplassen.

Erfaringer fra intervjubjekter tilsier at det ofte er vanskelig å oppdage slike avvik visuelt før kollisjoner forekommer.

Konklusjon: Frekvens 3, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Feilplassert sprinklerrør

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:*Mulige løsninger:*

ALT 1: Remontere sprinklerrør i rett posisjon

ALT 2: Omprosjektere og flytte planlagt kolliderende rør

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Får mulighet til å flytte sprinkler før kolliderende arbeid skal utføres
- Unngår forsinkelser
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Potensielt forsinkelser for rørlegger og sprinkler pga. kollisjon
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

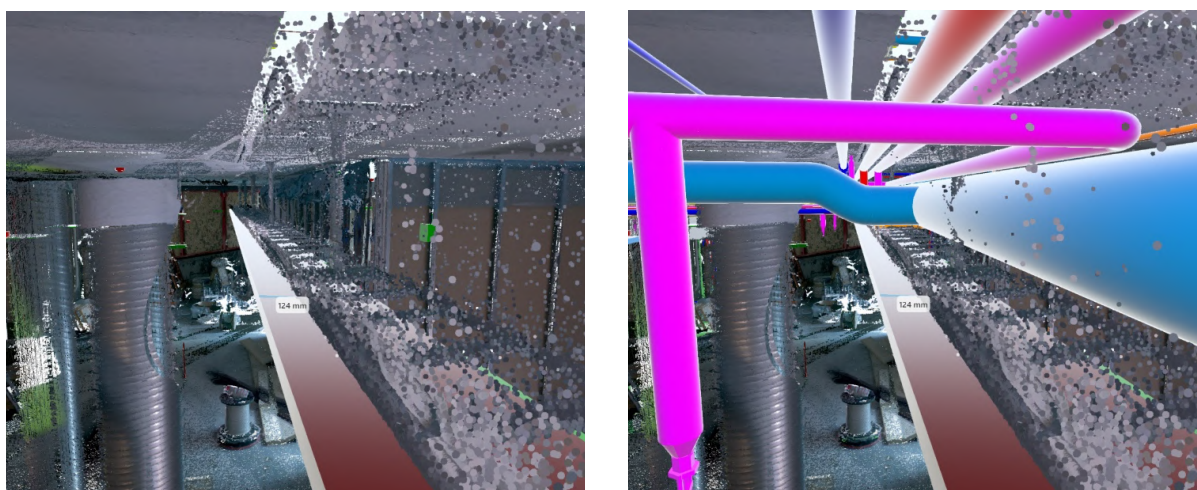
Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Denne avvikstypen ansees ikke som et kritisk avvik, ettersom sprinkler som regel relativt lett kan tilpasses situasjonen i senere tid. Flere intervjuobjekter mener allikevel de uansett krever omprosjektering. Dersom de oppdages tidlig kan man unngå fremtidige kollisjoner med andre fag, som man ikke ser ute på byggeplassen.

Erfaringer fra intervjuobjekter tilsier at det ofte er vanskelig å oppdage slike avvik visuelt før kollisjoner forekommer.

Konklusjon: Frekvens 3, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Feilplassert kabelbro

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:*Mulige løsninger:*

ALT 1: Remontere kabelbro i rett posisjon

ALT 2: Omprosjektere og flytte planlagt kolliderende rør

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Får mulighet til å flytte kabelbro før kolliderende arbeid skal utføres
- Unngår forsinkelser
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Potensielt forsinkelser for rørlegger og elektriker pga. kollisjon
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Denne avvikstypen ansees ikke som et kritisk avvik, men flere intervjuobjekter mener allikevel de uansett krever omprosjektering. Dersom de oppdages tidlig kan man unngå fremtidige kollisjoner med andre fag, som man ikke ser ute på byggeplassen.

Erfaringer fra intervjuobjekter tilsier at det ofte er vanskelig å oppdage slike avvik visuelt før kollisjoner forekommer.

Konklusjon: Frekvens 2, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Feilplassert ventilasjonskanal

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Omprosjekter ventilasjonskanal

ALT 2: Flytte ventilasjonskanal

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Unngår potensielle fremtidige kollisjoner
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Potensielt forsinkelser for tekniske fag ved kollisjoner
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

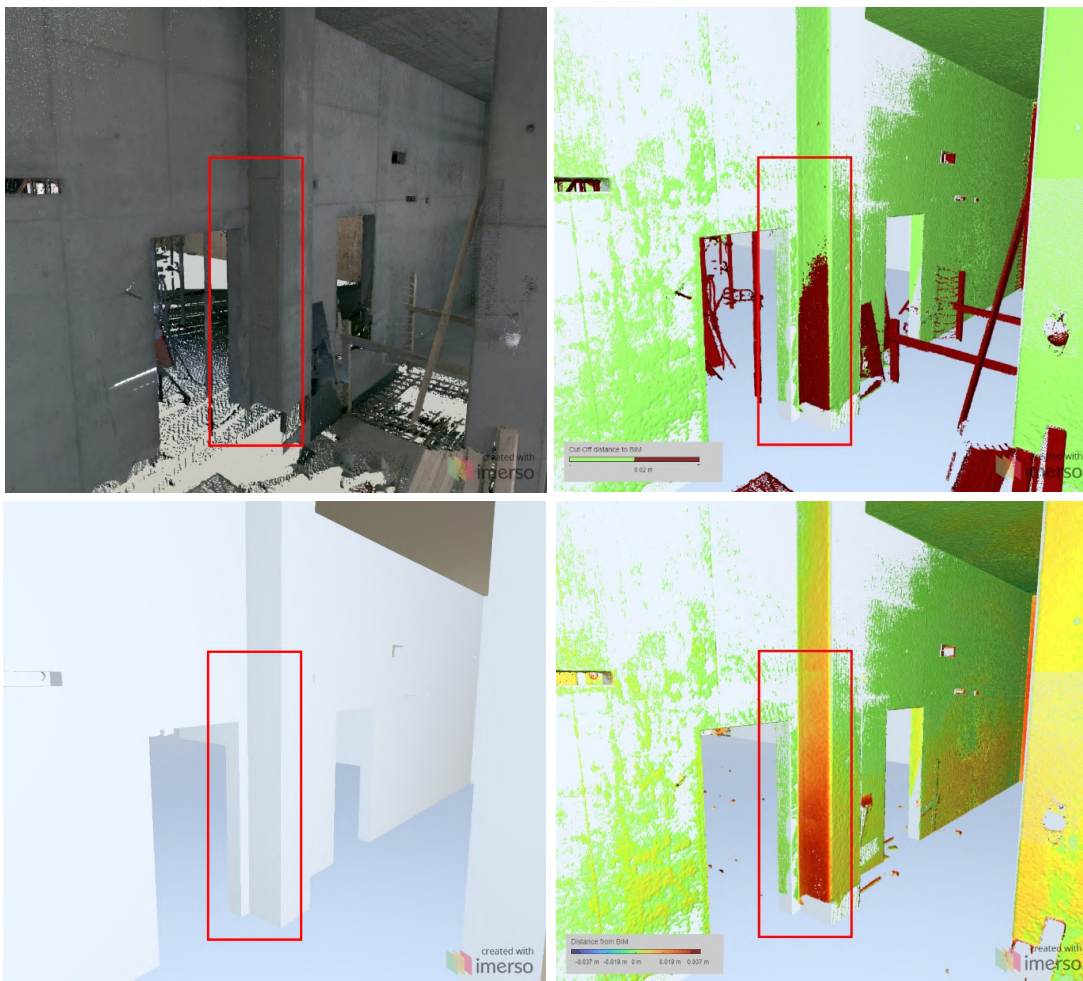
Denne avvikstypen ansees ikke som et kritisk avvik, men flere intervjuobjekter mener allikevel de uansett krever omprosjektering. Dersom de oppdages tidlig kan man unngå fremtidige kollisjoner med andre fag, som man ikke ser ute på byggeplassen.

Erfaringer fra intervjuobjekter tilsier at det ofte er vanskelig å oppdage slike avvik visuelt før kollisjoner forekommer.

Konklusjon: Frekvens 3, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Loddavvik betong

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Utbedre med murpuss

ALT 2: Bygge inn med gips og endre modell

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Sikrer at visuell forbedring blir gjennomført
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Dersom loddavvik kommer i konflikt med annet arbeid kan det oppstå forsinkelser
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

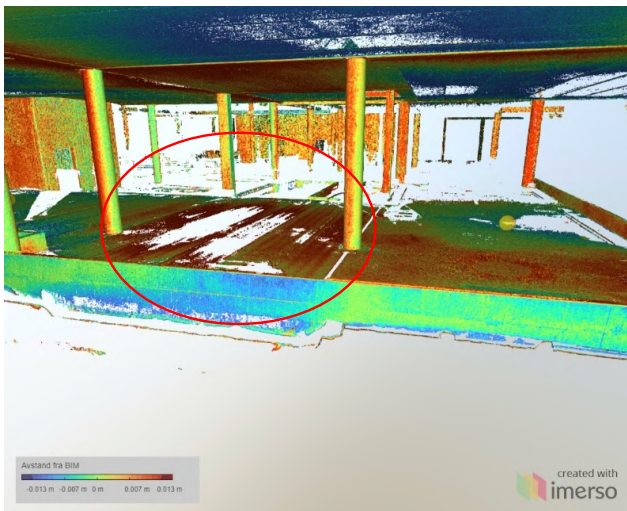
Loddavvik i betongkonstruksjoner er et avvik der frekvensen i stor grad varierer ut fra alvorligheten av avviket. Loddavvik av en estetisk konsekvens forekommer nokså ofte, men har en liten praktisk konsekvens. Loddavvik som påvirker bæreevnen forekommer svært sjeldent, men kan i ytterste konsekvens være svært alvorlig og kostbart å utbedre. Generelt er konsekvensene av et slikt avvik vurdert til å være lav, ettersom avviket med stor sannsynlighet kun påvirker et fåtall andre fag. Eksempelvis vil et mindre areal kunne måtte males på nytt dersom søylen må pusses.

Det vurderes til å være middels vanskelig å visuelt oppdage loddavvik på betongoverflater. Sannsynligheten for tidlig visuell oppdagelse er avhengig av størrelsen på konstruksjonen. Loddavvik i heissjakt er eksempelvis erfart vanskelig å oppdage. Fordelen med skanning med tanke på loddavvik er at man får kontrollert hele overflater. Ved tradisjonell kontroll hvor man eksempelvis sjekker en ende av en vegg med rettholt, så kan det forekomme avvik i andre deler av vegg.

Konklusjon: Frekvens 3, Konsekvens 2, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 3

Planavvik betongdekke

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Flytesparkle betongdekket

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Sikrer at forbedring blir gjennomført før videre arbeider forekommer
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan gi forsinkelser dersom det dekket ikke utbedres før gulvlegger eller andre fag skal inn
- Kan gi mindre praktisk og visuelt fin utførelse dersom andre elementer allerede er satt opp
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Planavvik på betongdekke kan sies å oppstå med jevne mellomrom. Konsekvensen av denne typen avvik er vurdert til å være relativt lav. Dette kommer av at tiltakene for utbedring, slik som flytesparkling, er nokså vanlig å bruke uansett hvordan betongdekke er. Et problem som kan oppstå er likevel at dekket har ujevnheter etter sparkling. Dette kan potensielt føre til feil senere i prosessen når man skal montere f.eks parkett på gulvet. Store planavvik som har en lastbærende konsekvens synes å oppstå svært sjeldent.

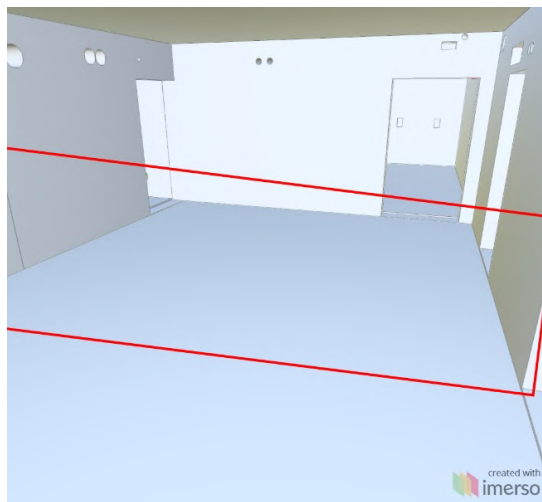
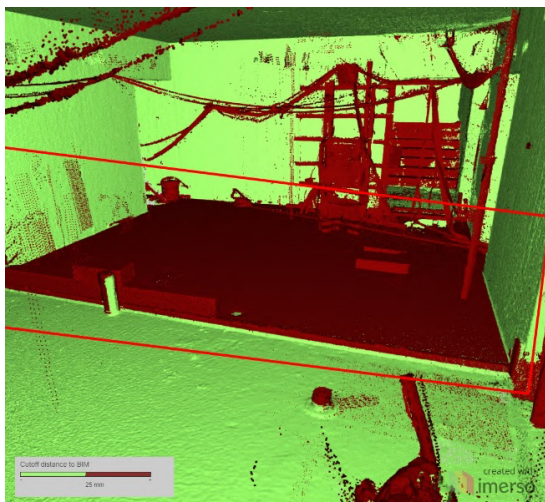
Ved avvik som dette er fordelen med skanning den grundige dokumentasjonen som det gir. Dette fører til at kostnader enklere kan overføres til andre aktører dersom det evt. er spørsmål om mengde sparkel som er brukt.

Det vurderes til å være middels vanskelig å visuelt oppdage planavvik på betongdekker, men det avhenger selvsagt av hvor stort avviket er.

Konklusjon: Frekvens 2, Konsekvens 3, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 3

Betongdekke i feil høyde

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Lage en terskel mot tilstøtende gulv og oppdatere modell

ALT 2: Flytesparkle tilstøtende gulv og oppdatere modell

ALT 3: Pigge opp/ pusse ned gulv

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Sikrer at det blir innhentet riktig mengde materialer og utstyr
- Sikrer at arbeidet kan bli utført med kun mindre forsinkelser
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan føre til forsinkelser som går ut over flere fag
- Kan gi nye feil for andre fag som følge av at mål blir tatt fra gulv med antatt rett høyde
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

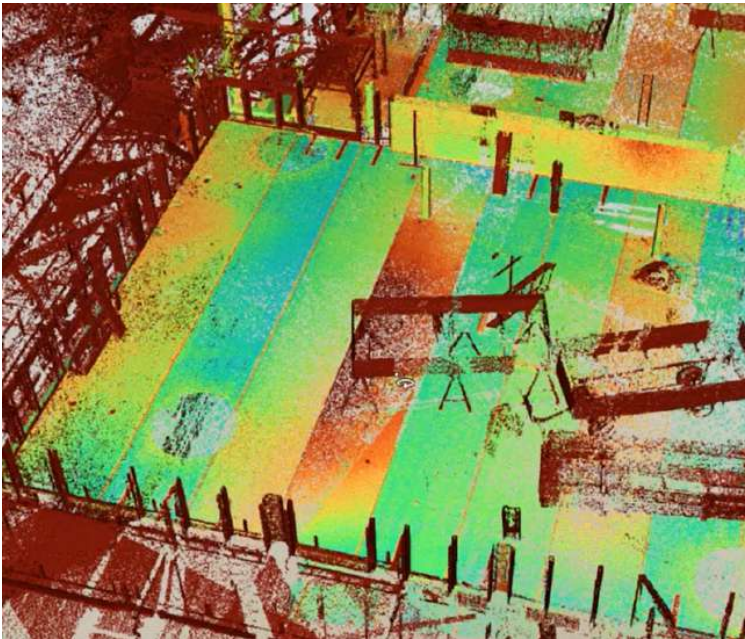
Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Feil høyde på betongdekker virker å oppstå nokså sjeldent, og konsekvensen av avhenger i stor grad av omfanget av feilen. Er det snakk om et stort dekke på flere centimeter feil kan det være nødvendig å involvere RIB for å utføre beregninger, men dette er kun ved spesielle tilfeller. Tiltakene som velges for utbedring synes i stor grad å ha lav påvirkning på fremdrift og kostnad, men avhenger selvsagt av om omfattende utbedring må gjøres. Ved avvik som dette er fordelene med skanning den grundige dokumentasjonen som det gir. Dette fører til at kostnader enklere kan overføres til andre aktører dersom det evt. Må sparkles og det er spørsmål om mengde sparkel som er brukt.

Det vurderes til å være relativt enkelt å visuelt oppdage feil høyde på dekket, spesielt hvis det er slik som eksempelbildene over.

Konklusjon: Frekvens 2, Konsekvens 3, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 2

Høydeavvik prefabrikkert betongelement



Mulige løsninger:

ALT 1: Endre innfestning på prefabrikkert dekke

ALT 2: Flytesparkle

ALT 3: Slipe ned oppspent gulv

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Unngår følgefeil ved de neste plasseringene
- Unngår forsinkelser
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Feil vil kunne gjenta seg i de neste etasjene
- Kan kreve store mengder flytesparkelmasse for utbedring
- Kan gi forsinkelser for videre arbeid
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

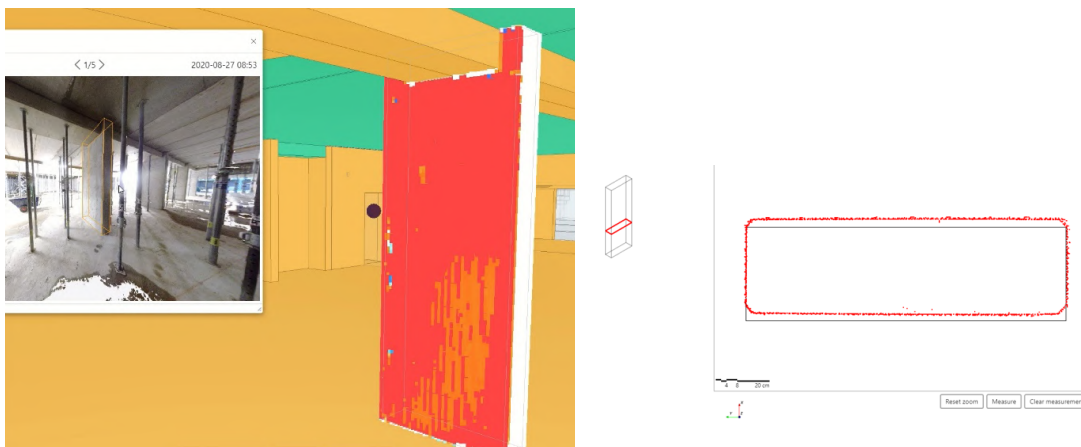
Høydeavvik på prefabelementer er et avvik som er oppdaget flere ganger på et av de undersøkte prosjektene. Konsekvensen ved et slikt avvik er som regel relativt lav ettersom man uansett pleier å flytesparkle over prefab betongdekker. En stor høydeforskjell øker imidlertid kostnad til flytmasse.

Erfaringer fra intervjuobjekter tilsier at det har vært lett å visuelt oppdage denne typen avvik uten skanner. Bruk av 3D laserskanner gir imidlertid en god oversikt og dokumentasjon av omfanget på avviket.

Konklusjon: Frekvens 2, Konsekvens 3, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 2

Feilplasserte søyler

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Omprosjektere søyler

ALT 2: Flytte søyler

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Unngår konstruksjonssvikt eller konstruksjonsskader ved oppdagelse før last påsettes
- Unngår følgefeil i de neste etasjene
- Unngå kollisjoner med andre fag
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Potensiell fare for konstruksjonssvikt eller konstruksjonsskader
- Feil vil kunne gjenta seg i de neste etasjene
- Kollisjoner mot videre arbeid kan gi forsinkelser
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Avvik på plassering av søyler, som er utenfor toleransekrav forekommer sjelden. Avvik i bærekonstruksjonen som er utenfor toleranser vil imidlertid nesten alltid kreve at RIB involveres og ser på stabilitet samt eventuelle tiltak. Disse blir potensielt veldig kostbare avvik, særlig om man ikke oppdager dem før sent i prosjektet.

Erfaringer fra intervjuobjekter tilsier at det ofte kan være vanskelig å oppdage slike avvik visuelt.

Konklusjon: Frekvens 1, Konsekvens 4, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Feilplassert bjelke

Mulige løsninger:

ALT 1: Omprosjektere bjelke

ALT 2: Flytte bjelke

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Unngår konstruksjonssvikt eller konstruksjonsskader ved oppdagelse før last påsettes
- Unngår følgefeil i de neste etasjene
- Unngå kollisjoner med andre fag
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Potensiell fare for konstruksjonssvikt eller konstruksjonsskader
- Feil vil kunne gjenta seg i de neste etasjene
- Kollisjoner mot videre arbeid kan gi forsinkelser
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Avvik i bærekonstruksjonen som er utenfor toleranser vil nesten alltid kreve at RIB involveres og ser på stabilitet samt eventuelle tiltak. Disse blir potensielt veldig kostbare avvik, særlig om man ikke oppdager dem før sent i prosjektet.

Erfaringer fra intervjuobjekter tilsier at det har ikke alltid er lett å oppdage slike avvik visuelt.

Konklusjon: Frekvens 1, Konsekvens 4, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Feilplassert massivtrebjelke*Mulige løsninger:*

ALT 1: Omprosjektere bjelke

ALT 2: Flytte bjelke

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Unngår konstruksjonssvikt eller konstruksjonsskader ved oppdagelse før last påsettes
- Unngår følgefeil i de neste etasjene
- Unngå kollisjoner med andre fag
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Potensiell fare for konstruksjonssvikt eller konstruksjonsskader
- Feil vil kunne gjenta seg
- Kollisjoner mot videre arbeid kan gi forsinkelser
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

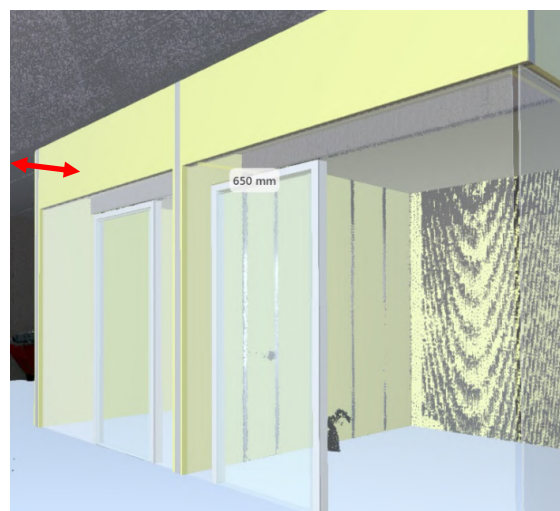
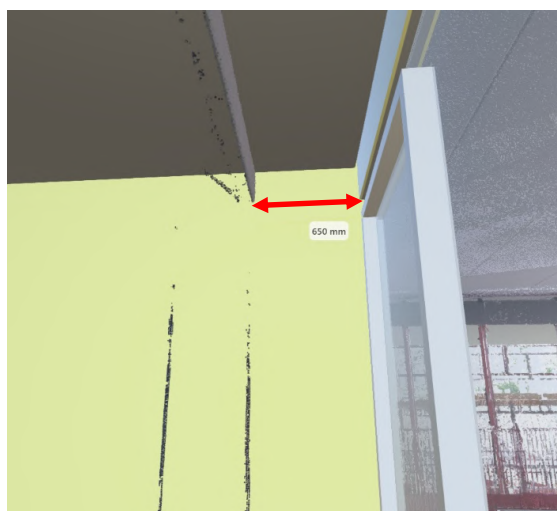
Avvik på plassering av massivtrebjelker oppfattes å forekomme relativt sjeldent. I de studerte prosjektene har det imidlertid forekommet avvik ved montasje som har ført til slike avvik. Dette kunne ifølge intervjuobjektet ha gitt følgefeil videre dersom det ikke hadde blitt oppdaget. I et tenkt verste scenario kan en feilplassert bærende bjelke føre til alvorlige konsekvenser.

Det vurderes til å kunne være noe vanskelig å visuelt oppdage feilplasserte komponenter. Bjelker er lange og ofte plassert høyt, noe som kan gjøre det vanskelig med en god visuell sjekk.

Konklusjon: Frekvens 1, Konsekvens 4, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 4

Feilplassert stenderverk til innervegg

Eksempelbilder fra skann og BIM-modell:



Mulige løsninger:

ALT 1: Rive stenderverk, og bygge opp igjen på rett plass

ALT 2: Oppdatere modell og tilpasse tilstøtende vegger og systemvegger

Fordel av tidlig oppdagelse med skann:

- Kan omplassere vegg før den er ferdig bygd
- Sikrer at arbeidet kan bli utført med kun mindre forsinkelser
- Dokumentasjon og kontroll

Potensielle konsekvenser av sen oppdagelse

- Kan føre til forsinkelser som går ut over flere fag
- Kan føre til at det må utføres omarbeid av flere fag som tømmer, maler, gulvlegger osv.
- Kan føre til nye avvik, dersom mål tas fra antatt korrekt plasser vegg
- Kan føre til at det blir valgt mindre praktiske løsninger
- Manglende dokumentasjon og kontroll for prosjektledelse

Potensiell spart risiko ved tidlig oppdagelse:

Feilplasserte stenderverk til innervegg er vurdert til å opptre ved middels frekvens, og fører til avvik av en lav-middels konsekvensklasse. Alvorlighetsgraden avhenger i stor grad av hvor mye feilplassert vegg er, om det er en "viktig innervegg" tilknyttet et viktig rom, og om det kollidere med andre komponenter som skal monteres i nærheten. Er det snakk om innervegger som ikke er kritiske for prosjektet at er plassert helt korrekt vil det ikke ha en stor konsekvens ved å sette veggene noe feil. Man får riktignok litt redusert kvalitet ved at areal blir mindre. Det som skaper utfordringer og øker konsekvensgraden av avvik er påvirkningen det har på andre fag. Dette avvik kan potensielt skape en del kollisjoner med andre fag som videre kan føre til forsinkelser. Utbedringer som å lage en påføring eller rive og bygge opp på nytt ved riktig plassering vurderes som relativt enkle. Oppdatering av BIM modell er heller ikke særlig krevende. Hvis BIM modell ikke oppdateres kan det skape problemer dersom det tas mengder ut av modellen.

Det vurderes til å være middels vanskelig å visuelt oppdage feilplasserte stenderverk.

Konklusjon: Frekvens 2, Konsekvens 3, Vanskelighetsgrad tidlig visuell oppdagelse 3

